

Energy Conversion

معلومات ابتدائية :

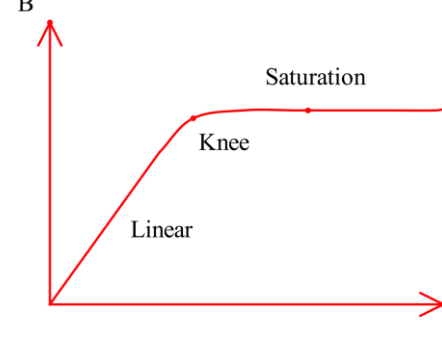
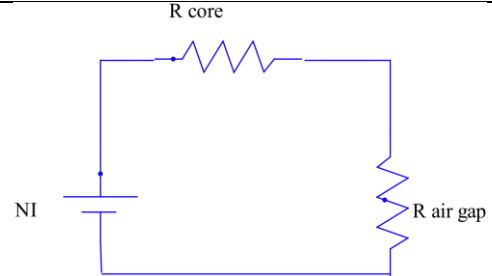
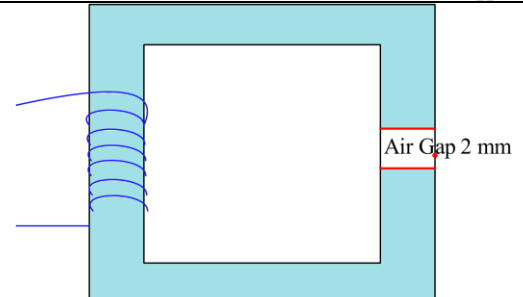
تحويل الطاقة باستخدام وسيط مغناطيسي أكفاً 10000 مرة عن تحويلها بوسيط كهربي

مكونات الدائرة المغناطيسية : 1- مصدر قوة دافعه مغناطيسية : أ) مرور تيار في ملف ب) مغناطيس دائم

$$1\text{wb} = 10^8 \text{ flux lines}$$

2- مادة مغناطيسية لتمثل مسار لمرور الفيض

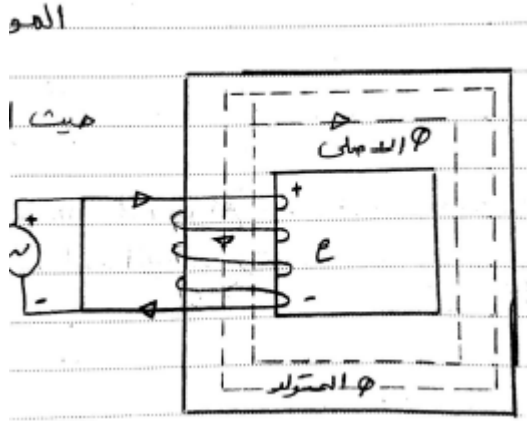
عند دراسته المجال المغناطيسي وانتقاله وجدنا تماثل بين الدوائر الحثية و الدوائر الكهربائية

Electrical	Magnetic
$Emf = V = IR$	$Mmf = NI = \phi R = Hl$
$R = \frac{l}{\sigma A}$	$R = \frac{l}{\mu A}$ $\mu = \mu_0 \mu_r$ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$
	Flux density $\vec{B} = \frac{\phi}{A} \text{ (Tesla)}$ Flux Linkage $\vec{\lambda} = N\phi \text{ (Turn.Wb)}$ Inductance $\vec{L} = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\phi}{I} = \frac{N^2}{R} = \frac{\mu N^2 A}{l}$ $B = \mu H$
	 The diagram shows a B-H curve with three regions: Linear, Knee, and Saturation. The vertical axis is labeled B and the horizontal axis is labeled H.
 The diagram shows a series circuit with a voltage source labeled NI, a resistor labeled R core, and a resistor labeled R air gap.	 The diagram shows a magnetic core with a coil wound around it. The core has an air gap labeled Air Gap 2 mm.

Induced electromotive force (emf)

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d(LI)}{dt} = \frac{d(N\phi)}{dt}$$

static U يحتوي على أجزاء متحركة if L constant



$$\therefore e = L \frac{di}{dt} = N \frac{d\phi}{dt}$$

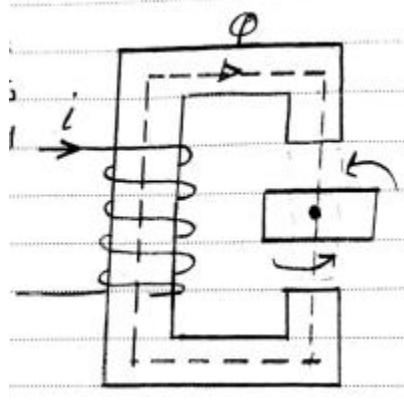
قاعده لنز : القوة الدفاعة المستحثه عند طرفي الملف تعمل على توليد فيض يعاكس الفيض الأصلي للملف عند عمل S.C على الملف

تتولد emf بشرط ان التيار متغير AC وليس DC

$$\text{if } DC \quad e = 0$$

$$\text{if } AC \quad e = L \frac{di}{dt}$$

L is not constant يحتوي على جزء متحرك



بسبب تغير الـ R بسبب تغير التيار

$$e = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}$$

$$\text{if DC} \rightarrow e = i \frac{dL}{dt}$$

if AC

بسبب تغير الـ R بسبب تغير التيار

$$e = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \frac{d\theta}{d\theta} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

static transformer dynamic speed voltage

$$= L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \dot{\theta}$$

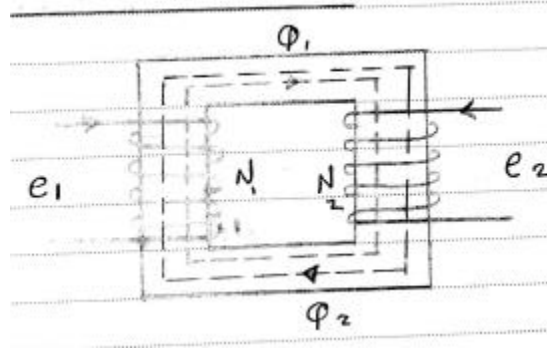
اذن يشترط لحدوث جهد مستحث

1- وجود فيض

2- حدوث تغير (اما في الفيض المار بالملف او حركه للملف (تغير الـ L نتيجة تغير R) او كلاهما

3- وجود مادة مغناطيسية موصلة

Magnetic Circuit with two coils :



two fluxes in the same direction $\phi = \phi_1 + \phi_2$

two fluxes are not in the same direction $\phi = \phi_1 - \phi_2$

$$\phi = \frac{NI}{R}$$

$$\phi = (\phi_1 \pm \phi_2) = \frac{N_1 I_1}{R} \pm \frac{N_2 I_2}{R}$$

$$\lambda = N\phi$$

$$\therefore \lambda_1 = N_1 \left(\frac{N_1 I_1}{R} \pm \frac{N_2 I_2}{R} \right) = \frac{N_1^2 I_1}{R} \pm \frac{N_1 N_2 I_2}{R}$$

فيض ناتج من مرور تيار في الملف الاول نفسه فيض ناتج من مرور تيار في الملف الآخر

$$\lambda_1 = \widehat{\lambda_{11}} \pm \widehat{\lambda_{12}}$$

$$\lambda_1 = L_{11} I_1 \pm M_{12} I_2$$

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = \frac{d}{dt} (L_{11} I_1 \pm M_{12} I_2) = L_{11} \frac{dI_1}{dt} + I_1 \frac{dL_{11}}{dt} \pm M_{12} \frac{dI_2}{dt} + I_2 \frac{dM_{12}}{dt}$$

وكذلك بالمثل لل e_2 نكرر نفس الخطوات

وبافتراض عدم تغير ال L وبالتالي ال M لكل الملفين

$$e_1 = L_{11} \frac{dI_1}{dt} \pm M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

$$e_2 = L_{22} \frac{dI_2}{dt} \pm M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

إذا كان تأثير الملف الأول على الثاني مثل تأثير الملف الثاني على الأول $M_{12} = M_{21} = M$

Properties of Magnetic Materials

(Iron is a popular example)

$$\mu_r(\text{of non magnetic}) \ll \mu_r(\text{magnetic material}) \quad -1$$

$$R(\text{non magnetic}) \gg R(\text{magnetic}) \quad -2$$

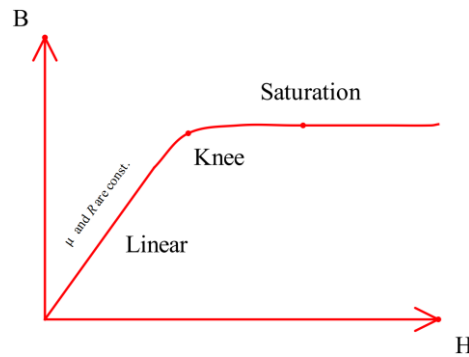
-3 المواد المغناطيسية تحتاج لتيار صغير لتوليد فيض بالقيمة المطلوبة فنحتاج لمساحة اقل وتكون التكلفة اقل عنها اذا استخدمنا مادة غير مغناطيسية تحتاج تيار كبير لكبر الreluctance

$$\phi = \frac{Ni}{R} \Rightarrow R = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

-4 المواد المغناطيسية لها ما يعرف بال B-H curve

حيث

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu H$$
$$B \propto \phi, H (= \frac{NI}{l}) \propto I$$



R, μ is constant at the linear region and varies at the knee and sat.

Saturation هو معناه وصول الفيض لقيمه عظمى ولا يمكن زيادته اكثر من ذلك تبعا لزياده التيار وذلك لتشبع

مساحة الحديد بخطوط الفيض وعدم تحملها خطوط اكثر

ولذلك تمثل افضل نقطه عمل هي المنطقة الفاصله بين ال linear وال saturation للاستفاده بالمساحة كلها

باقول تيار

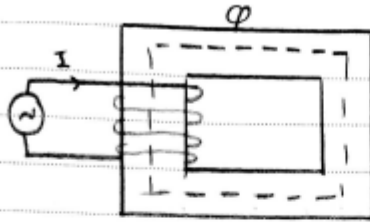
$$\mu_r \uparrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow R \downarrow$$

لحساب ذلك التيار

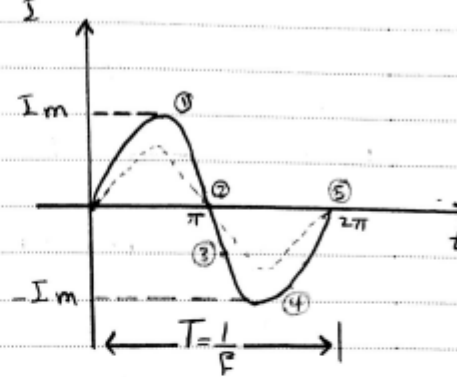
$$DC \rightarrow I = \frac{V}{R}, AC \rightarrow \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Magnetic Hysteresis

② magnetic hysteresis



حدث في حالة التيار AC فقط



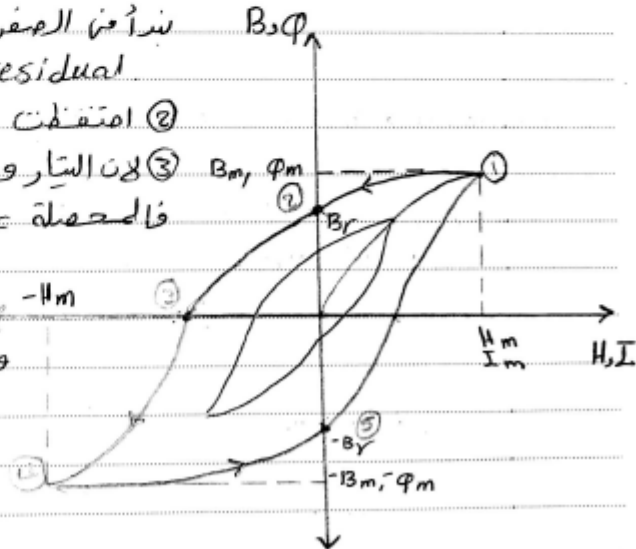
$$I_m = I_m \sin \omega t$$

نبدأ من المفرد وتأخذنا ان المادة لا تفرغ فيها
magnetic residual

② امتنقت في جزء من المتناظرة

③ لان التيار ولد فيض عكس الفيض الموجود
فالمحصلة = صفر

④ عند البرقية للتيار بالتالي
ولد اكبر فيض بالتالي



مساحه المنحنى تعتمد علي قيمه التيار (كلما قل التيار كلما زادت مساحه المنحنى)

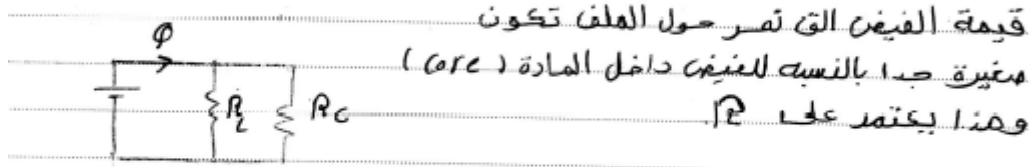
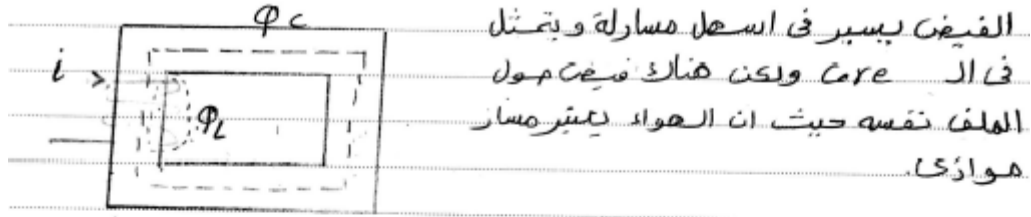
باختلاف H يمكن الحصول على قيم مختلف لل B وذلك اعتمادا على قيمه التيار

كلما زادت قيمه ال Br كلما زادت مساحه المنحنى

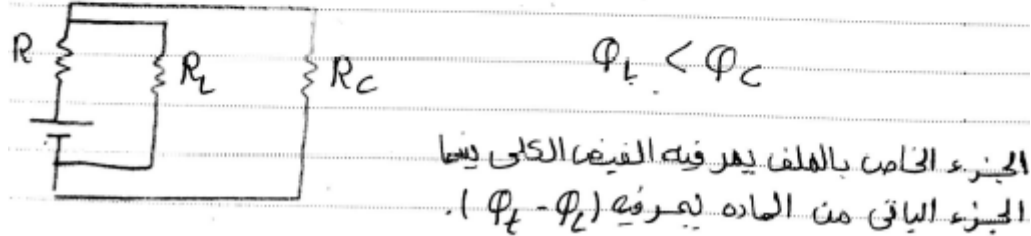
مساحه المنحنى تمثل المفاقيد المغناطيسية وتعتمد على نوع الماده و حسب التطبيق الذي نستخدمه فيه

كل Loop يتكرر ذلك المنحنى مره

Magnetic Flux Leakage



$$\Phi_t = \Phi_L + \Phi_C$$



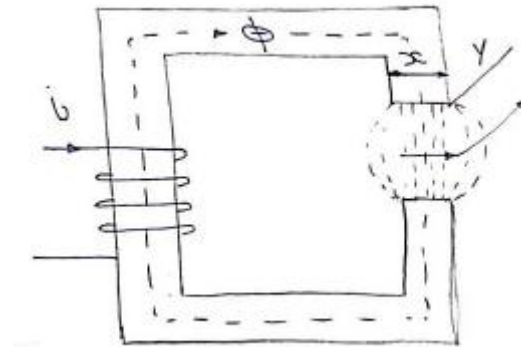
$$\Phi_L < \Phi_C$$

استنتاج قيمه الفيض المتسرب

$$\Phi_L R_L = \Phi_C R_C = mmf$$

$$\Phi_L = \frac{\Phi_C R_C}{R_L}$$

Magnetic Flux fringing



$$A_c = xy$$

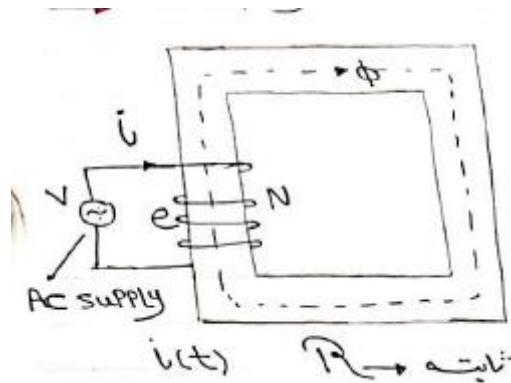
$$A_g = (x + 2l_g) + (y + 2l_g)$$

$$\therefore A_g > A_c$$

$$\therefore B_g < B_c$$

$$\frac{\phi}{A_g} > \frac{\phi}{A_c}$$

Energy Stored in the magnetic field

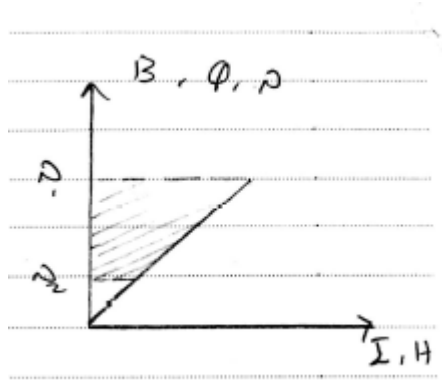


$$P = e * i = \frac{d\lambda}{dt} * i$$

$$\therefore W = \int p dt = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i \frac{d\lambda}{dt} dt = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda$$

من معادله المنحنى التي تربط λ ب i نوجد i بدلالة λ ثم نعوض

(بفرض العلاقة Linear بينهما)



$$\lambda = Li$$

$$\therefore i = \frac{\lambda}{L}$$

$$\therefore W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\lambda}{L} d\lambda = \frac{1}{L} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \lambda d\lambda = \frac{1}{L} \left[\frac{\lambda^2}{2} \right]_{\lambda_1}^{\lambda_2} = \frac{1}{2L} (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)$$

assume $\lambda_1 = 0$

$$\therefore W = \frac{1}{2L} \lambda_2^2 = \frac{1}{2L} (Li)^2 = \frac{1}{2} L i^2$$

لا يوجد حركة (طاقة ميكانيكية) بالتالي كل الطاقة المخزنة في الملف هي magnetic flux

AC Excitation

أي عند تزويد الملف بتيار متردد

First (emf and emf rms)

$$e = N \frac{d\phi}{dt} , \phi = (\phi_m \sin \omega t)$$

$$e = N \phi_m \omega \cos \omega t = E_{Max} \cos \omega t$$

$$\text{where } E_{Max} = N \phi_m \omega \quad \therefore E_{rms} = \frac{N \phi_m \omega}{\sqrt{2}} = \frac{N \phi_m 2\pi f}{\sqrt{2}} = 4.44 N \phi_m N f$$

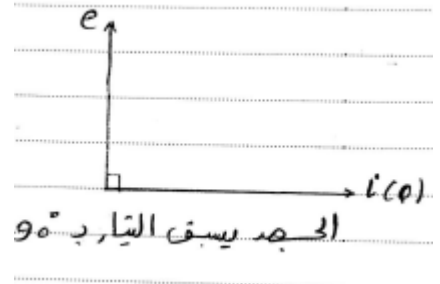
Linear Magnetic "Ideal" -1

$$i_\phi = \frac{\phi R}{N} = \frac{R}{N} \phi_m \sin \omega t$$

$$e = E_{Max} \cos \omega t$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

الجهد يسبق التيار ب 90 درجة



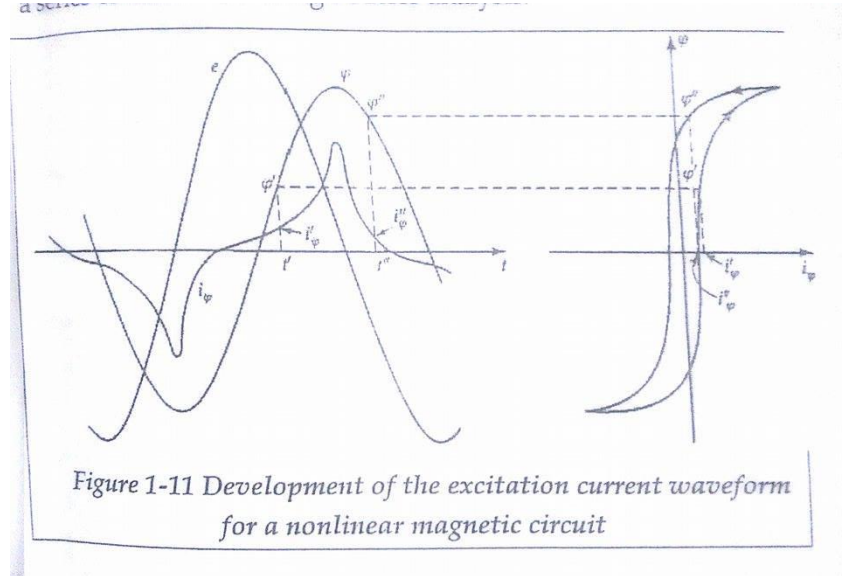
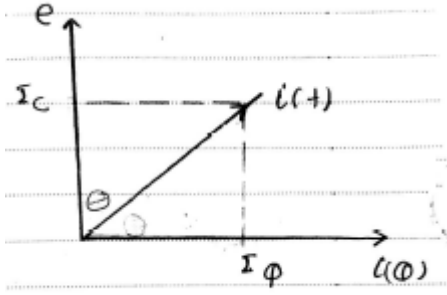
$$\therefore P(\text{active Power}) = E_{rms} I \cos 90 = 0$$

أي انه في حالة ال ideal كل الطاقة المسحوبة تخزن في الملف على هيئة reactive power فقط

$$Q (\text{Reactive Power}) = E_{rms} I \sin 90$$

In Ideal -2

التيار المزود به الملف غير منتظم سيولد فيض ليس in phase



الزاوية بين التيار والجهد لا تكون 90 لكن تكون θ ويمكن فصلها لمركبتين

$$I_c = I \cos \theta$$

$$I_\phi = I \sin \theta$$

$$- \text{active power } P = E_{rms} I \cos \theta = E_{rms} I_c$$

$$- \text{reactive Power } Q = E_{rms} I \sin \theta = E_{rms} I_\phi$$

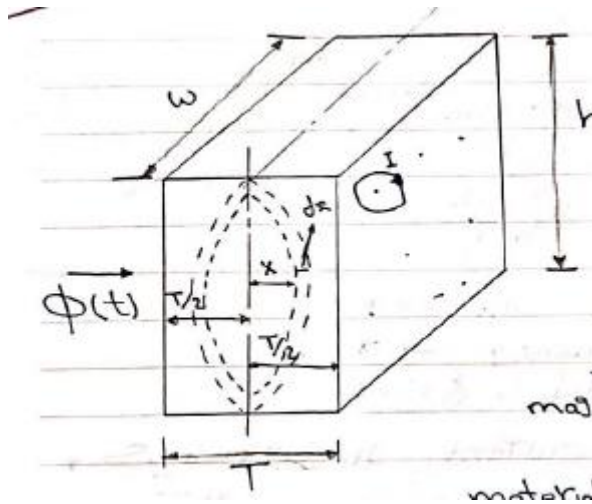
$$I_\phi = \frac{\phi R}{N} = \frac{Hl}{N}$$

$$I_{rms(\phi)} = \frac{H_{rms} l}{N}$$

Magnetic Core Losses (Iron Losses)

$$P_{iron} = P_{core} = P_e + P_h = \text{ watt}$$

Eddy Current (Losses)



$$E_{rms} = 4.44 N \phi_m f \rightarrow N = 1$$

$$\rightarrow E_{rms} = 4.44 \phi_m f$$

$$\phi = BA = B_m 2hx$$

$$E_{rms} = 4.44 B_m 2h x f$$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{\rho (2h)}{w dx}$$

$$dI = \frac{E_{rms}}{R} = \frac{4.44 B_m f 2hx}{\frac{\rho (2h)}{w dx}} = \frac{4.44 B_m f 2hx w dx}{\rho (2h)}$$

$$dP_e = E dI = 4.44 B_m 2h x f * \frac{4.44 B_m f x w dx}{\rho} = \frac{(4.44 B_m f)^2}{\rho} 2 h w x^2 dx$$

$$P_e = \int dP_e = \int_0^{\frac{T}{2}} \frac{(4.44 B_m f)^2}{\rho} 2 h w x^2 dx = \frac{(4.44 B_m f)^2}{\rho} 2 h w \int_0^{\frac{T}{2}} x^2 dx$$

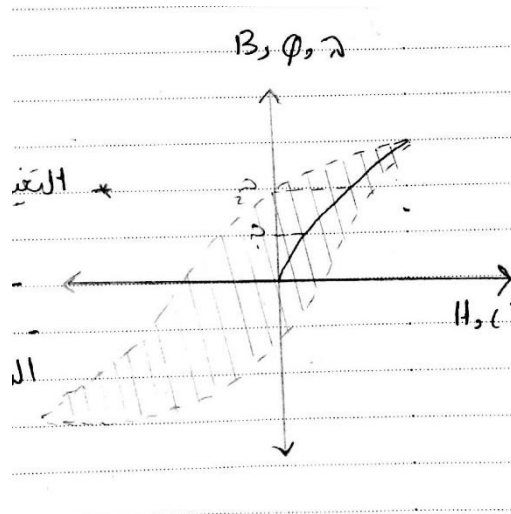
$$P_e = \frac{(4.44 B_m f)^2}{\rho} 2 h w \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^T = \frac{(4.44 B_m f)^2}{\rho} 2 h w \frac{T^3}{24}$$

$$= \frac{(4.44 B_m f T)^2}{24\rho} 2 h w T = \frac{(4.44 B_m f T)^2}{24\rho} 2 V$$

$$\therefore P_e = K_e B_m^2 f^2$$

Note : for B_m to be constant $\frac{v}{f}$ must be constant

Hysteresies Losses



نوجد المساحة تحت المنحنى اما عن طريق تقسيمها مربعات صغيره وإيجاد مساحتها او عن طريق التكامل

من المساحة تحت المنحنى نحدد الشغل المفقود نتيجة لل Hysteresies Losses

$$\Delta W_h = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda$$

$$i = \frac{Hl}{N} \quad \text{and} \quad \lambda = N\phi = N \cdot B \cdot A$$

$$\therefore \Delta W_h = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{Hl}{N} d(N \cdot B \cdot A) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Hl d(B \cdot A) = lA \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H dB$$

$$\therefore W_h = V \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H dB$$

$$P_h = \frac{W_h}{T} = W_h \cdot f$$

$$\therefore P_h = K_h B_m f$$

$$\text{Energy} \frac{\text{Loss}}{\text{Hour}} = \text{Hyst. Loop} * \text{volume} * f * 60 * 60$$

تجربه لقياس ال core losses

- بقياس مقاومة الملف (بالأوميتير) أو تسليط حبه D_c و $\frac{V}{I}$ و R_s .
 - توصيل جهاز وات ميتر في الدائرة وتسليط جهد V عند تردد f والجهد A_c لو كانت الدائرة Trans. قليلة مفتوح.
 - قياس تيار الملف $P_{cu} = I^2 r$ وغالباً تهمل هذه القيمة لأنها صغيرة جداً $P_{iron} = W_t - P_{cu}$ المعطاة للمعدن هما قراءة الوات ميتر فرق الفرق في الملف.

الفصل بين (E و h)

Case II

$$V_1 = 220 \text{ V}$$

$$f_1 = 50 \text{ Hz}$$

$$P_{iron1} = P_{e1} + P_{h1}$$

$$P_{e1} = k_e B m_1^2 F_1^2$$

$$P_{h1} = k_h B m_1^2 F_1^2$$

Case 12)

$$V_2 = 110 \text{ V}$$

$$P_2 = 25 \text{ W}$$

$$P_{iron2} = P_{e2} + P_{h2}$$

$$P_{e2} = k_e B m_2^2 F_2^2$$

$$P_{h2} = k_h B m_2^2 F_2^2$$

بسط المعاد على كثافة
التي هي ثابتة

$$\Rightarrow B m_1 = B m_2$$

$$P_{iron1} = k_e F_1^2 + k_h F_1$$

$$P_{iron2} = k_e F_2^2 + k_h F_2$$

بالضرب

$$k_e = \text{⊗}$$

$$k_h = \text{⊗}$$

Case 1 and 2 بالتعويض في

$$P_{e1} = \text{⊗}$$

$$P_{e2} = \text{⊗}$$

$$P_{h1} = \text{⊗}$$

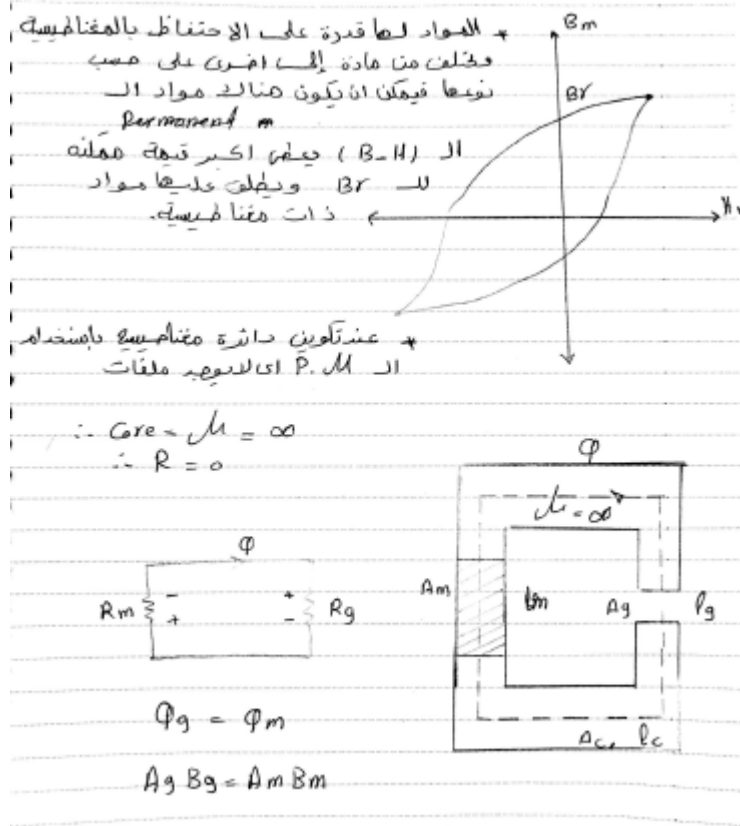
$$P_{h2} = \text{⊗}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

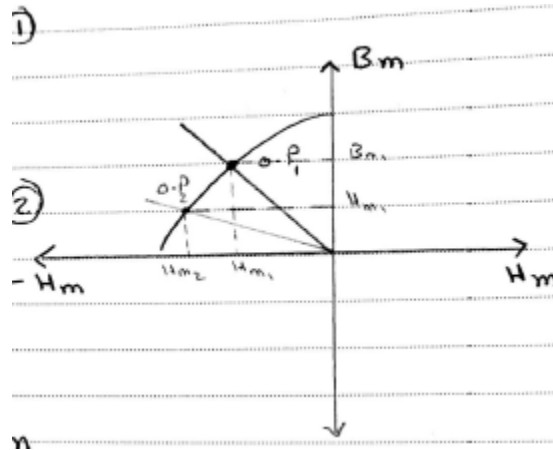
الزاوية بين (P, Q) = θ°

Permanent Magnets



إثباتين مهمين بييجوا في الامتحانات :

الإثبات الأول : تحديد نقطة التشغيل ،
 اثبت أن نقطة التشغيل تعتمد على أبعاد الـ PM و الـ airgap



$$\phi = B_m A_m = B_g A_g$$

$$\therefore B_m = \frac{A_g B_g}{A_m} = \frac{A_g (\mu_0 H_g)}{A_m}$$

$$H_g l_g + H_c l_c = 0$$

$$\therefore H_g = -\frac{H_m l_m}{l_g}$$

$$\therefore B_m = -\frac{A_g (\mu_0 H_m l_m)}{A_m l_g} = -\mu_0 \frac{A_g l_m}{A_m l_g} H_m = -k H_m$$

وهي معادلة خط مستقيم ونقطة التشغيل تقع اما في الربع الثاني او الرابع ويفضل في الربع الثاني

يمكن اهمال مقاومه الحديد بالنسب هلل airgap

يتولد فيض بدون مرور تيار في PM ولكن عيوبها هو ان الفيض يكون ثابت ولا يمكن التحكم فيه وتغييره

الاثبات الثاني : لحساب اقل حجم للحصول على B معينه في ال airgap

(اقل وزن واقل مساحه)

$$V_m = A_m l_m$$

$$\phi = B_m A_m = B_g A_g$$

$$\therefore A_m = \frac{B_g A_g}{B_m}$$

$$H_g l_g + H_m l_m = 0$$

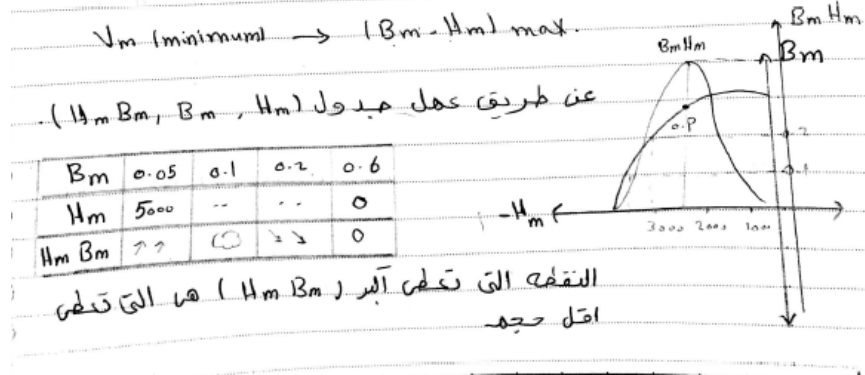
$$l_m = -\frac{H_g l_g}{H_m} = -\frac{B_g l_g}{\mu_0 H_m}$$

$$\therefore V_m = A_m l_m = \frac{B_g A_g}{B_m} * -\frac{B_g l_g}{\mu_0 H_m} = -\frac{B_g^2 A_g l_g}{\mu_0 H_m B_m}$$

$$\therefore \text{for } V_m \text{ Maximum we need } (B_m H_m) \text{ Minimum}$$

نوجد تلك النقطة عن طريق الرسم او عمل جدول

Note : for a very short l_g then a high B_m it may be in the saturated region



بعد إيجاد النقطة $B_m H_m$ التي تعطي أكبر قيمة نعوض في قانون ال V ونوجد أي ابعاد ناقصه

Ch2 : Magnetically Coupled Coils

Self Inductance

$$L = \frac{\lambda}{I} = \frac{N\phi}{I} = \frac{N^2}{R} = P N^2$$

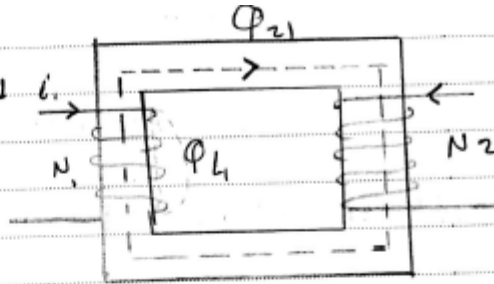
لو الفيض متغير تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة e

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

L ثابتته عندما تكون R ثابتته وذلك μ ثابتته في المنطقة ال Linear

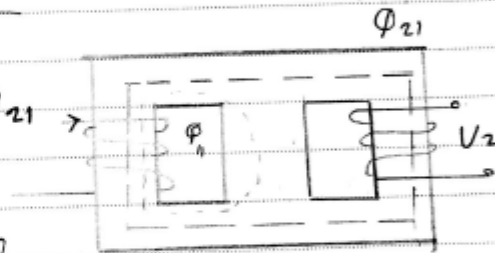
Mutual Inductance

L_{11} = Self Inductance of Coil 1
 L_{22} = " " " " " 2
 M_{21} = mutual Inductance between Coil 2, 1
 M_{12} = " " " " " 1, 2



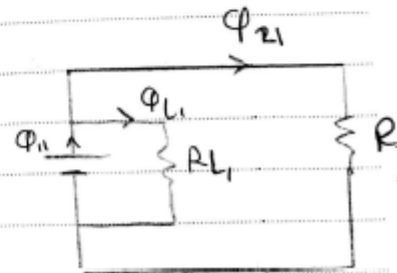
$$M_{12} = M_{21} = M$$

Φ_{21} هو الفيض الذي يتلحظ الملف الثاني
 وينتج عن الملف الاول.



Φ_{11} هو الفيض الذي يتلحظ الملف الاول
 وينتج عن نفس الملف

Φ_L الفيض المتسرع من الملف الاول.
 الفيض الناتج من الاول ويمر في مسار
 لا يمر بالمف الثاني.



$$\Phi_{11} = \Phi_{21} + \Phi_L \leftarrow$$

$$N_1 I_1 = \Phi_{L_1} R_{L_1} \quad \Phi_{L_1} = N_1 I_1 P_{L_1}$$

$$N_1 I_1 = \Phi_{21} R_{21} \quad \Phi_{21} = N_1 I_1 P_{21}$$

$$\Phi_{11} = \Phi_{L_1} + \Phi_{21}$$

$$= N_1 I_1 [R_{L_1} + R_{21}]$$

$$\Phi_{11} = N_1 I_1 P_{11}$$

$$P_{11} = P_{L_1} + P_{21} \leftarrow$$

$$\frac{1}{R_{11}} = \frac{1}{R_{L_1}} + \frac{1}{R_{21}}$$

$$\mathcal{A}_1 = N_1 \Phi_{11}$$

$$e_1 = \frac{d\mathcal{A}_1}{dt} = \frac{d}{dt} N_1 N_1 I_1 P_{11}$$

$$e_1 = N_1^2 P_{11} \frac{dI_1}{dt} \quad e_1 = L_{11} \frac{dI_1}{dt}$$

$$L_{11} = N_1^2 P_{11}$$

$\mathcal{A}_{21}$ الفيض الذي قطع الملف الثاني شحبه الملف الاول

$$\mathcal{A}_{21} = N_2 \Phi_{21}$$

$$\Phi_{21} = N_1 I_1 P_{21}$$

$$\mathcal{A}_{21} = N_1 N_2 I_1 P_{21}$$

$$V_2 = \frac{d\mathcal{A}_{21}}{dt} = N_1 N_2 P_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

$$V_2 = M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

$$M_{21} = N_1 N_2 P_{21}$$

عند تطوير ديسن الجرحه ولان بتعدد الملف الثاني

$$L_{22} = N_2^2 P_{22}$$

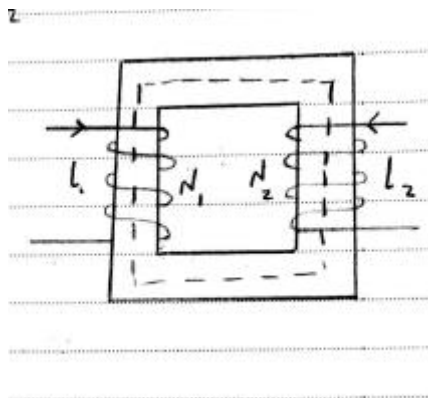
$$M_{12} = N_1 N_2 P_{12}$$

$$P_{12} = P_{21}$$

$$\therefore M_{12} = M_{21} = M$$

M تعتمد على P لو ثابت فان M ثابت لو متغيرة فان M متغير

Mutual Inductance in terms of self inductance



$$L_{11} L_{22} = N_1^2 P_{11} * N_2^2 P_{22}$$

$$P_{11} = (P_{L1} + P_{21})$$

$$P_{22} = (P_{L2} + P_{12})$$

For linear mag. circuit

$$P_{12} = P_{21}$$

$$L_{11} L_{22} = N_1^2 (P_{L1} + P_{21}) * N_2^2 (P_{L2} + P_{12})$$

$$L_{11} L_{22} = N_1^2 N_2^2 P_{21} P_{12} \left(\frac{P_{L1}}{P_{21}} + 1 \right) \left(\frac{P_{L2}}{P_{12}} + 1 \right)$$

$$L_{11} L_{22} = (N_1 N_2 P_{12})^2 \left(\frac{P_{L1}}{P_{21}} + 1 \right) \left(\frac{P_{L2}}{P_{12}} + 1 \right)$$

$$= M^2 \left(\frac{P_{L1}}{P_{21}} + 1 \right) \left(\frac{P_{L2}}{P_{12}} + 1 \right)$$

$$K^2 = \frac{1}{\left(\frac{P_{L1}}{P_{21}} + 1 \right) \left(\frac{P_{L2}}{P_{12}} + 1 \right)}$$

$k \ll 1$ تقلد على المسافة بين الملفين إذا كانت كبيرة $k=0$
 $\ll$ الزاوية بين الملفات 90° : لا يوجد قسما من الملف الاول قطع الملف
 انشاف والملف $k=0$

$$0 \leq k \leq 1$$

$$L_{11} L_{22} \leq \frac{M^2}{k^2}$$

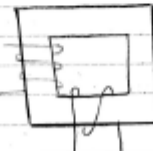
$$M^2 = k^2 L_{11} L_{22}$$

$$M = k \sqrt{L_{11} L_{22}}$$

$$k=0$$

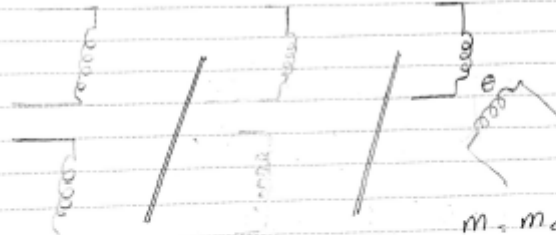
$$\theta = 90^\circ$$

$$M=0$$



$k \neq 0$ حيث ان الزاوية مقصود بها الزاوية
 بين الفيضين وليست الملفات

$$M = M_{max} \cos \theta$$



$$M = M_{max} \cos \theta$$

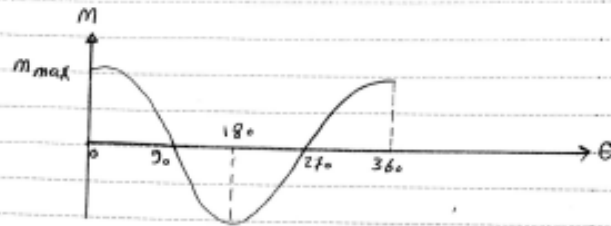
$$\theta = 180^\circ \quad \theta = 0^\circ$$

$$M = -M_{max} \quad M = M_{max}$$

$$\theta = 270^\circ$$

$$M = 0$$





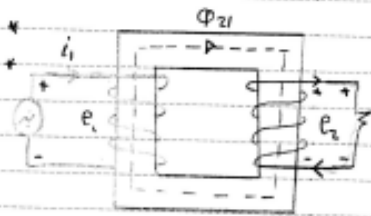
K : Coupling coeff.

Polarity of The self and mutually Induced Voltages

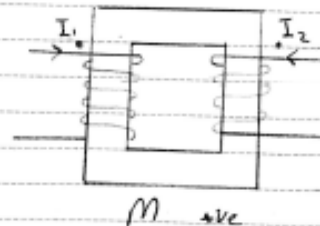
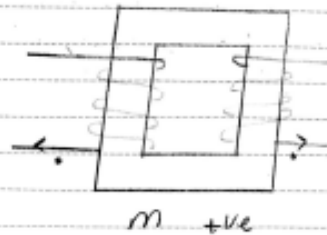
الفين متغير لوليات لا يتولد منه
mutual e_2 الى e_1 متغير
تبعاً لقاعدة لينز

$$e_{21} = M \frac{di_1}{dt}$$

$$M = N_1 N_2 \mu_{12}$$



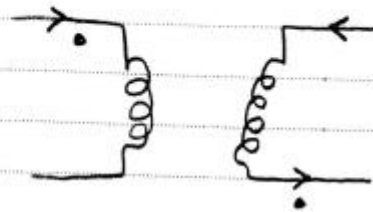
وصفقة عمل ال Transformer



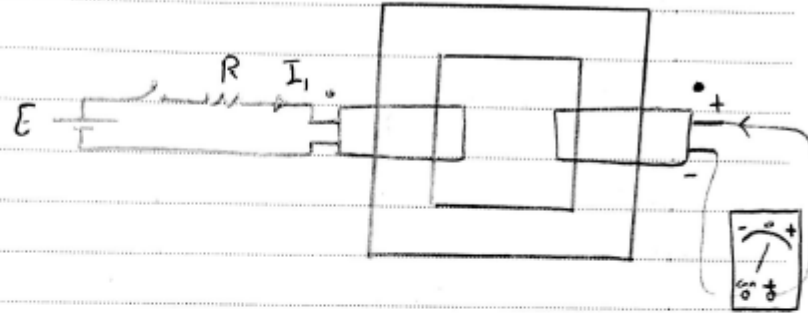
“الفين يساعد بعضه”

$M - ve$

الفين عكس بعضه

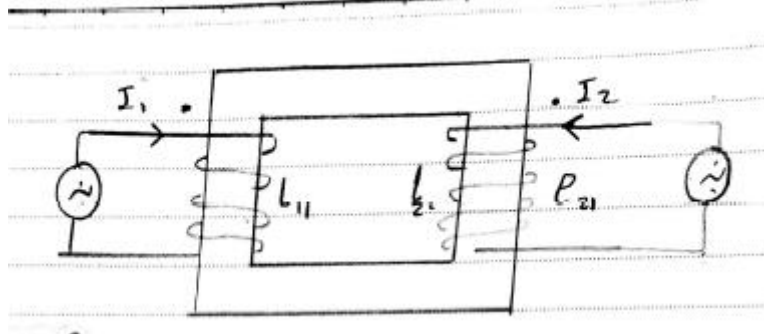


Experimentally Determine the dot marking



- عند وضع مصدر ومقاومة عند الملف الأول ϵ المقاومة لتقلل التيار لأن الملف في حالة D.C يكون S.C. نضع مفتاح لأن الجهد في الملف الثاني يعتمد على معدل تغير قبض الملف الأول مع الزمن عن طريق المفتاح نغير الفيض في الحظ الفتح والفتح والفتح للمفتاح.
- عند غلق المفتاح يتولد ϵ على الملف الثاني عن طريق توصيل فولتير يمكن تحيد المعصية وإزالة الملف.
- إذا تحرك المؤشر في الجزء الموجب فإن موجب الفولتير متصل بموجب الملف. "تحرك الحظ ويدرج للمضمرمة أخرى". لأن المصدر D.C.

Energy stored in magnetically coupled coils



First step

$$i_2 = 0 \quad i_1 = 0 \rightarrow I_1, \quad t: t_1 \rightarrow t_2$$

$$W_1 = \int_{t_1}^{t_2} e_1 i_1 dt = \int_{t_1}^{t_2} L_{11} \frac{di_1}{dt} i_1 dt = \int_0^{I_1} L_{11} i_1 di_1 = \frac{1}{2} L_{11} I_1^2$$

Second Step

$$i_1 = I_1, i_2 : 0 \rightarrow I_2, t : t_2 \rightarrow t_3$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \int_{t_2}^{t_3} (e_1 i_1) + (e_2 i_2) dt = \int_{t_2}^{t_3} \left[\left(L_{22} \frac{di_2}{dt} i_2 \right) + \left(M_{21} \frac{di_1}{dt} i_2 \right) \right] dt \\ &= \frac{1}{2} L_{22} I_2^2 + M_{21} I_1 I_2 \end{aligned}$$

$$W_t = W_1 + W_2 = \frac{1}{2} L_{11} I_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} I_2^2 \pm M I_1 I_2$$

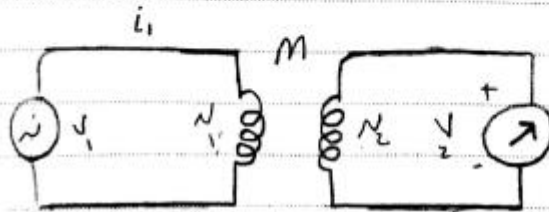
$$W_t = \frac{1}{2} L_{11} I_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} I_2^2 \pm \frac{1}{2} M I_1 I_2 \pm \frac{1}{2} M I_2 I_1$$

لثلاث ملفات

$$W_t = \frac{1}{2} L_{11} I_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} I_2^2 + \frac{1}{2} L_{33} I_3^2 \pm M_{12} I_1 I_2 \pm M_{23} I_2 I_3 \pm M_{13} I_1 I_3$$

Ideally coupled Coils

- * $k=1 \Rightarrow M = \sqrt{L_{11} L_{22}}$
- * $\mu_r = \infty$ (For material) $\Rightarrow R = 0$
- * $r=0$ (For Coil) $\Rightarrow$ Pure Inductance.



Voltage Ratio

$$V_1 = j\omega L_{11} I_1 \leftarrow (j\omega L \cdot I)$$

$$V_2 = j\omega M I_1$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{L_{11}}{M} = \frac{L_{11}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{L_{11}}{L_{22}}} = \sqrt{\frac{N_1^2/R}{N_2^2/R}} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}}$$

step up/down transformer. قلوة لاس

Current Ratio

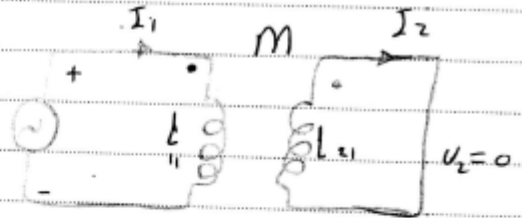
العبارة عندنا هي المتولد على الملف
الاول شحير self Ind والى
المتولد على الملف الثاني شحير
mutual Ind.

$$0 = j\omega L_{22} I_2 - j\omega M I_1$$

$$L_{22} I_2 = M I_1$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{L_{22}}{M} = \frac{L_{22}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}} = \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}}$$



$$a = \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) | (I_1 = 0)}$$

$V_1 I_1 < V_2 I_2$
 ideal ← مساوية Power
 Power out < Power input ← unideal
 Measurement of turns ratio of The coupled coils.

$$a = \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) | (I_2 = 0) \times V_2 / V_1 | (I_1 = 0)}$$

Experiment : Measurment of turns ration of the coupled coils

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

عند وضع مصدر جهد عند الملف الاول وقياس V_2 عند الملف الثاني
 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

عند وضع المصدر عند الملف الثاني وقياس V_1 عند الملف الاول
 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$

من المفترض ان القيمة مثالية ولكن الدائرة غير للـ ideal يوجد امكان

طاقة كهربائية .

طاقة ميكانيكية : تنشأ من حركة مرز معين ويتم تحويلها إلى كهرباء عن طريق المولد .

طاقة الرياح : الطاقة الشمسية .

مصادر الطاقة

مصادر متجددة Renewable Sources	مصادر تقليدية Conventional Sources
هي مصادر الطاقة التي تتجدد مع الزمن دون تدخل الإنسان ولا تنفذ مع الاستهلاك مثل الرياح - الشمس - الطاقة الكامنة في باطن الأرض . <u>مميزاتها</u> 1- طاقة غير موفدة 2- تكلفة التشغيل تكاد تكون متدنية 3- طاقة نظيفة 4- طاقة آمنة <u>عيوبها</u> 1- تكاليف الإنشاء عالية جداً 2- كفاءة منخفضة 3- طاقة موسمية	تتمثل في الوقود الحفري : البترول - الفحم - الغاز الطبيعي . قوى نووية يتم عن طريق المفاعل <u>عيوبها</u> 1- ليست طاقة دائمة تنفذ مع الاستهلاك 2- ملوثة جداً للبيئة 3- غير آمنة وتحتاج إلى درجة كبيرة من الأمان 4- تحتاج إلى خطوط نقل اما عن طريق السكك الحديدية او المراكب وهي مكلفة جداً لذلك بدأ الناس في البحث عن بديل

عيوب الطاقة المتجددة

- * طاقة موسمية
- * Capital Cost عالية جداً - التكلفة من المراكب
- * الكفاءة منخفضة
- * الكفاءة المتأثرة بالشمسية لا تتعدى 13%

① الطاقة الشمسية Solar energy

عمر الشمس 5 مليو سنة

مقدار الطاقة من الشمس $P = 3.85 \times 10^{23} \text{ KW}$

يغطي استهلاك العالم

- * الطاقة الشمسية تعتمد على
- * المساحة المخصصة للطاقة الشمسية
- * الزاوية بين ال surface والاشعاع الشمسي
- * نظافة سطح الخلية الشمسية

كيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية

1 Indirect method

2 Direct method

① Indirect method

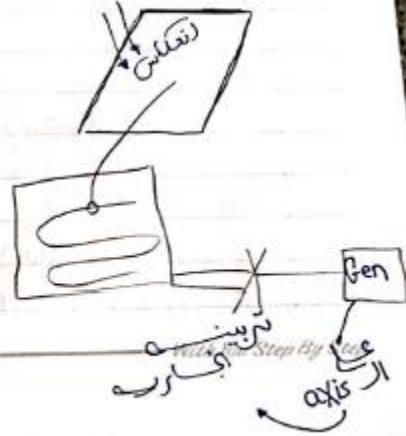
طريقة غير مباشرة

طاقة شمسية ← طاقة ميكانيكية ← طاقة كهربائية

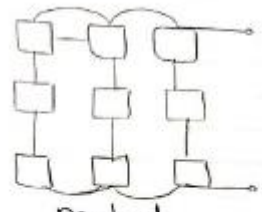
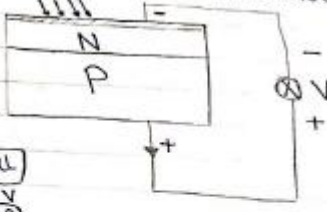
عند طريقة استخدام حركة الشمس

✓ كفاءة منخفضة

✓ وتكاليفها عالية جداً

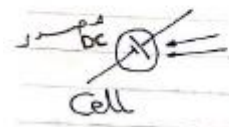


② Direct method

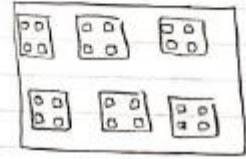
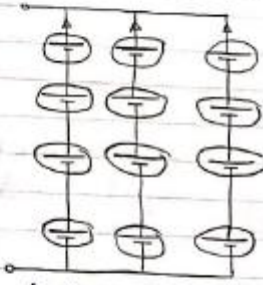


Module

عبارت به مجموعی از سلولها
متصل به یکدیگر است و ولتاژ و توانی



array



array

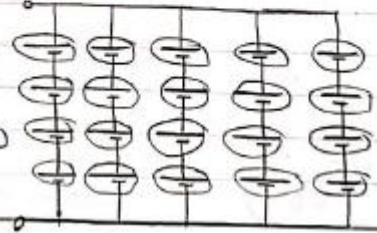
ex 1 Kw, 48V
array DC

Cell 12V, 50W

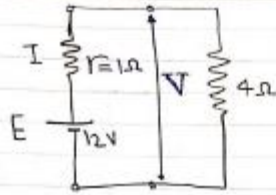
$$n = \frac{1000}{50} = 20 \text{ Cell}$$

$$V = \frac{48 \times 50}{12} = 4V$$

$V = 48V$
 $P = 1000W$



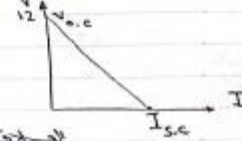
DATE 23.10.2016 SUBJECT



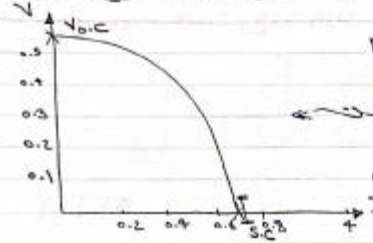
$$V_{oc} = 12V$$

$$V = 10.8 \text{ at } I = 1.2A$$

$$V = 9.6 \text{ at } I = 2.4A$$



المقاومة بين الجهد والتيار في الخلية الشمسية



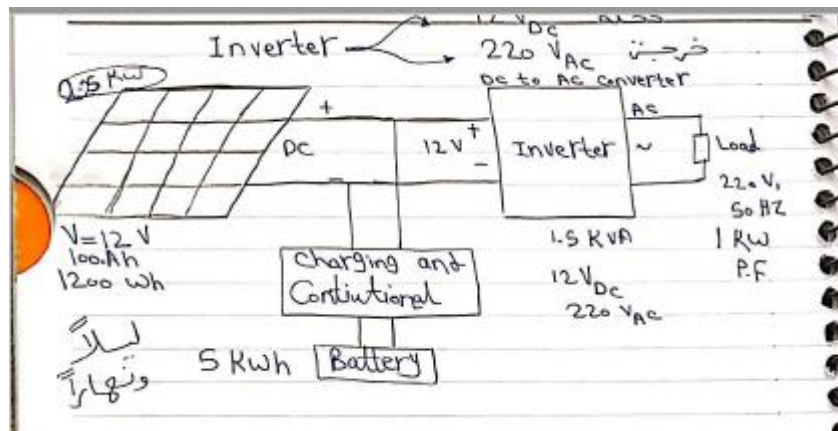
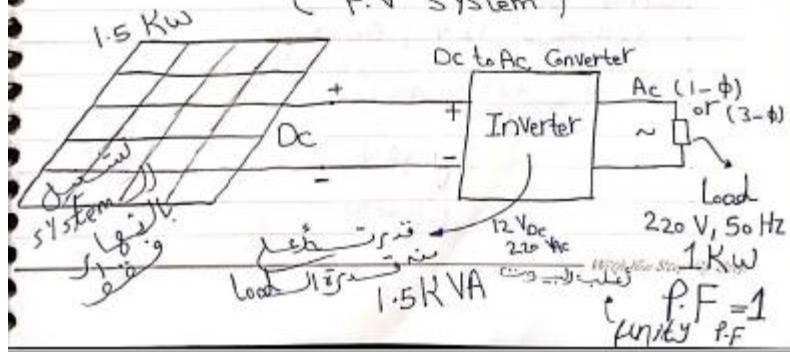
تتأثر مع الإشعاع

للشمس

→ أشعة الشمس المباشرة ←

كلما زاد الإشعاع الشمسي
ازدادت قدرة الخلية

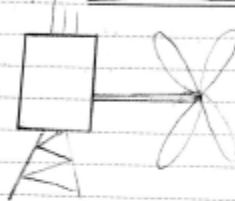
→ Solar generator [Photo Voltaic Generator]
(P.V system)



Wind energy

- * أول توليد لطاقة الرياح في أواخر القرن التاسع وكانت القدرة بالكيلو واط .
- * وحالياً القدرة تصل إلى أكثر من ميجا واط وتصل إلى ارتفاع الريشة ٨٠ متر
- * تستخدم في المناطق المفتوحة (السهلية)

أنواع من حيث طريقة التحكم في الزاوية β



الزاوية بين الريشة والرياح $\Rightarrow$ Pitch angle β

1- Variable Pitch angle turbines

يوجد Sensor يقيس سرعة الرياح والزاوية β ولتغير β يتم تغير الجهد المقابل للرياح من الزرشة وذلك عن طريق ميل الريشة أي تغير β (زاوية ميل الريشة).

في حالة سرعة الرياح الكبيرة جداً يتم تغير الزاوية لتقليل السرعة تقل سرعة الترشية كبيرة نلجأ إلى فصل الترشية عن generator وتكون الترشية وهما مفعولة .

أما في حالة سرعة الرياح صغيرة جداً ومهما تغيرت الزاوية تقل سرعة الترشية أقل من سرعة المولد تولد كهرباء ولكن بنفسه صغيرة غير المطلوبة . يتم فصل الترشية أيضاً .

أنواع المولدات المستخدمة Synchronous Generator في حالة ال
pitch angle للحفاظ على السرعة ثابتة حتى يخرج المولد من
وقود ثابت.

2) Fixed Pitch angle turbines

تظل المروحة الرشيقة في وضع ثابت والزاوية ثابتة وبالتالي عندما تتغير
سرعة الرياح تتغير سرعة المولد لذلك يتم وضع صندوق تروس
(gear box) بين الترس والمولد. يقوم هذا الصندوق بقياس
سرعة الترس وسرعة المولد لإختيار الترس الذي يجعل السرعة
اقرب ما يكون للسرعة المطلوبة.
أنواع المولدات المستخدمة Induction Generator

يخضع التروس لثابت نسبة تحويل بين السرعات.

يتم تصنيف الترس أيضاً من حيث الوضع فهناك ترس أفقي
وأخرى رأسية.

لا بد من معرفة قدرة الأحوال ← عشان فدر المولد المطلوب على حسب
القدرة ويتم زيادتها ربما تحتاج إلى زيادة الأحوال مستقبلاً
قدرة الترس < قدرة المولد

$$P_w = \frac{\pi}{8} \rho D^2 U_w^3 C_p \Rightarrow \text{Watt}$$

ρ : كثافة الهواء air density.

D : blades Diameter

U_w : wind speed (m/s)

C_p : Power Coefficient of The turbines

P_w : out Put mechanical Power

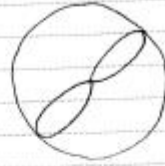
$$P_{out,ele} = P_{out,G} = \frac{P_w}{\eta_g} \rightarrow \text{كفاءة } G$$

كلما زادت سرعة الرياح كلما زادت الـ P_w .
سرعة الرياح تكون أفقية وسرعة دوران الريشة سرعة زاوية

$$\lambda = \frac{\pi D N_t}{60 V_w}$$

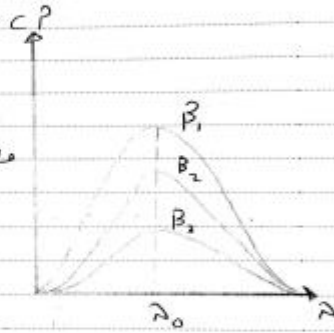
N_t : Speed (r.p.m)

λ : tip-speed ratio



Variable pitch-angle $\leftarrow C_p$

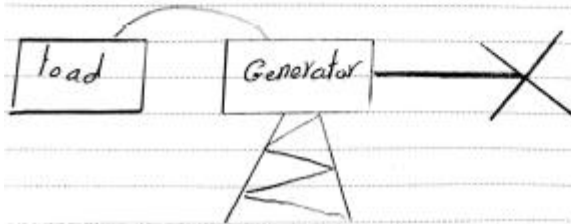
يختلف هذا المنحنى من ترسبة إلى آخر
متميز بـ λ متغير



wind energy Generating system

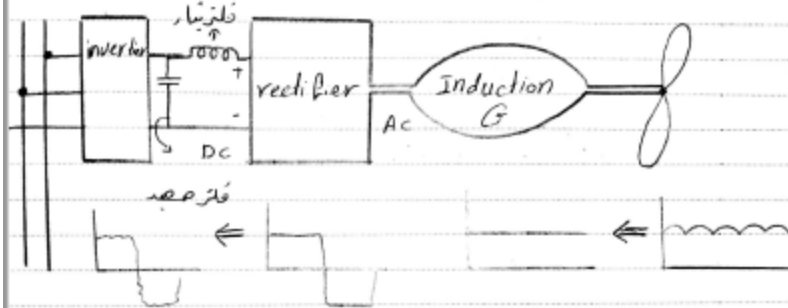
① - Stand-alone (isolated system).

يكون معزول عن الشبكة أي في مناطق بعيدة عن الشبكة.



2. system connected to The Common grid (network).

النظام متصل بالشبكة ولكن لا بد ان يكون الجهد والتردد الناتج من المولد هو نفسه جهد وتردد الشبكة.



يستخدم ملف عشان يشيل ال $repe$ للتيار وميكيف عشان الجهد (فلتر).
 تكلفة هذا النظام عالية جدا حيث يتم شراء Rectifier و Inverter ذات قدرة كبيرة.
 Control sys. يدير الجهد الناتج والتردد من Inverter والذي يساوي جهد وتردد الشبكة.
 للربط مع السعودية عن طريق Dc.
 يتم الربط بين الشبكات لتحسين الاعتمادية للشبكات ولديها مشكلة جدا لاستخدام خطوط نقل بين البلاد.

Ch 3 : Principles of electromagnetic energy conversion

يتم تصنيف أنظمة تحويل الطاقة من خلا الوسيط مجال مغناطيسي الى تصنيفات على حسب

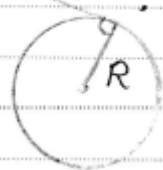
A) Excitation B) C)

A) Excitation

وتعني مصدر الفيض الموجود في الاله قد يكون مجرد سلك يمر به تيار و ملف او مغناطيس دائم ويتم تصنيفها كالآتي

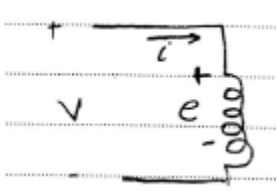
Single Excited	Double Excited	Multiply Excited
عبارة عن ملف او مجموعه من الملفات من احد ال member ف الاله سواء كان stator و rotor واحد هم يمر فيه تيار او مصدر لتوليد الفيض (واحد فقط)	عبارة عن ملف او مجموعه من الملفات في ال stator وال rotor معا أي الاثنين مصدران للفيض	عده مصادر منها single و double

B) حسب طريقه العمل

Small signals	Force producing devices	Continues Conversion Devices
بجيث يكون ال scale منخفض أي معدلته منخفض وبالتالي الجهد والتيار سيكون limited في الحركة Ex: Solonoid valves relays loud speaker	يعطي حركه خطيه ومحدوده translational motor انتقاليه في خط مستقيم والمسافات Limited في خط الإنتاج Examples : conductors relays linear motot Relays ولكن لها باور اكبر ط	نفس النوع السابق ولكن تكون انتاج F مستمره فلا بد من وجود دورات وبالتالي يوجد عزم وتسمى rotating $T = F \cdot R$  ويمكن تحويل من rotating الى Linear مثل القطارات في الدول المتقدمة

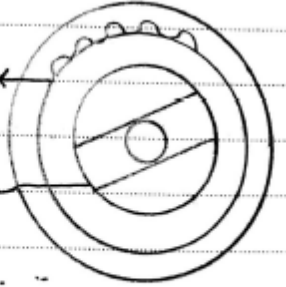
C) Analysis

يتم في التحليل في الالات التعامل مع 3 أنواع من العلاقات الفيزيائية والرياضية

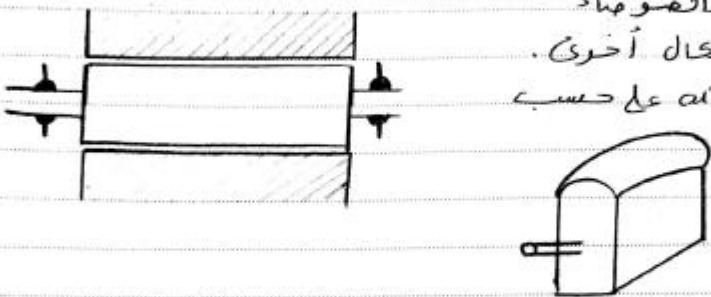
Electrical relations	Mechanical Relations	Conversion Relations
-Ohm's Law - Kirchoffs Law	- Newtons laws $F=ma$ $T = j dw/dt$	Faraday Lenz (magnetic)  $e = - \frac{d\lambda}{dt}$ تبعاً لقاعده لنزل الجهد المستحث يعاكس المسبب له/

Electrical Circuit Relations of rotating Systems

1- Single excited system L

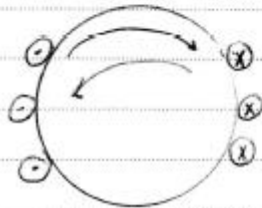

 Stator ملف واحد في member واحد.
 rotor Stator عبارة عن أسطوانة مفرعة عن بعضها البعض على شكل شرائح معزولة (عشان eddy) وتحتوي على مجارى في المحيط الداخلي قد تكون مفتوحة او مغلقة على حسب التصميم ثم تتوضع الملفات عليها بطريقة ما.

rotor قد يكون عبارة عن أسطوانة امغرو من ال Stator حيث يوجد air gap لا مكانية الدوران ونحاول ان تكون امغر ما يملأ عتبات الحصول على ϕ المطلوب مع الحفاظ على التيار ويتم عمل ساند له لضمان توازنه وعند السقوط والحفاظ على air gap ثابتة ولذلك لتخلص من الاهتزازات والصوتيات وقد يكون له اشغال أخرى.
 فتتغير air gap على حسب شكل rotor.



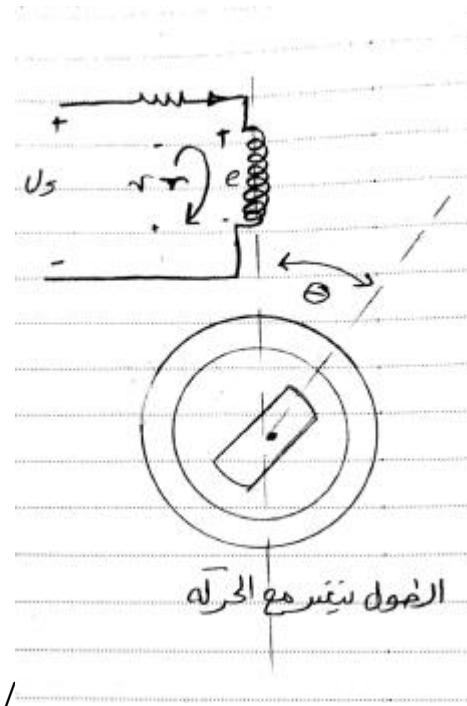
نفرض أن Stator يوجد به ملفين احدهم ϕ والاخر ϕ عمودين على الأسطوانة

ويكون اتجاه التيار عمودى للأعلى وأسفل فيعمل على الدوران



DC Excitation

Single excited system



If e has a value then $I = \frac{v-e}{R}$

$$R = \frac{l_g}{\mu_0 A_g}$$

reluctance تعتمد على الموضع بتناح ال rotor

$$R(\theta) = \frac{l_g(\theta)}{\mu_0 A_g(\theta)}, L = \frac{N^2}{R}$$

$$\text{at } \theta = 0 \rightarrow R_{min} \rightarrow L_{Max}$$

$$\text{at } \theta = 90 \rightarrow R_{Max} \rightarrow L_{Min}$$

$$\lambda = L(\theta)i$$

$$e = \frac{d\lambda(\theta, i)}{dt}$$

if AC

$$e = \overbrace{L \frac{di}{dt}}^{\text{static transformer}} + \overbrace{i \frac{dL}{dt}}^{\text{dynamic speed voltage}} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \frac{d\theta}{dt} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{d\theta} \frac{d\theta}{dt}$$

$$= \overbrace{L \frac{di}{dt}}^{\text{static transformer}} + \overbrace{i \frac{dL}{d\theta} \dot{\theta}}^{\text{dynamic speed voltage}} = \overbrace{L \frac{di}{dt}}^{\text{static transformer}} + \overbrace{i \frac{dL}{d\theta} \omega}$$

KVL $v - e = 0$ therefore $e = v$

$$v = IR + e$$

$$v = v_t + v_f$$

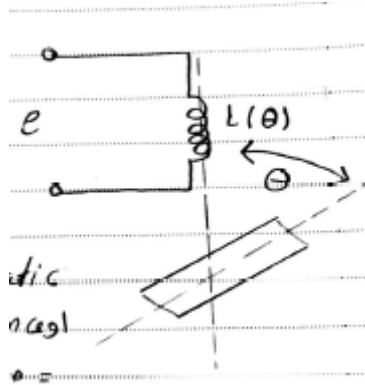
علاقه ال i , v مرهونه بال L ثابتة ام متغيره

لو كان ال rotor اسطواني ويتحرك فان ال air gap ثابتة ولا تتغير ال L

في حالة ال L ثابتة (ال rotor اسطوانه)

$$e = \overbrace{L \frac{di}{dt}}^{\text{static transformer}}$$

الملفات لا تكون مركزه ولكنا تكون موزعه على عدد من المجاري و مدى التوزيع يعتمد على التصميم وعلى حسب سواء single او 3=phase ولكن للتيسيط بنمثلها بملف واحد فوق ال rotor



Doubly excited system

يحتوي على 2 coil احدهم rotor والآخر stator

$$M(\theta) = k \sqrt{L_{11}(\theta)L_{22}(\theta)}$$

$$\lambda_1(i_1, i_2, \theta) = L_{11}i_1 + M i_2$$

$$\lambda_2(i_1, i_2, \theta) = L_{22}i_2 + M i_1$$

$$v_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + i_1 \frac{dL_{11}}{d\theta} \omega + M \frac{di_2}{dt} + i_2 \frac{dM}{d\theta} \omega = \overbrace{L_{11} \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}}^{\text{Transform}} + \overbrace{i_1 \frac{dL_{11}}{d\theta} \omega + i_2 \frac{dM}{d\theta} \omega}^{\text{Speed Voltage}}$$

$$v_2 = \overbrace{L_{22} \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}}^{\text{Transform}} + \overbrace{i_2 \frac{dL_{22}}{d\theta} \omega + i_1 \frac{dM}{d\theta} \omega}^{\text{Speed Voltage}}$$

ولكي نمثل أكثر من نظام معا نستخدم صورته المصفوفات

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & m \\ m & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \mathbb{L}(\theta) \mathbb{I}$$

حيث

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \lambda^T = [\lambda_1 \quad \lambda_2]$$

$$I = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \Rightarrow I^T = [i_1 \quad i_2]$$

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & m \\ m & L_{22} \end{bmatrix}$$

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} v_1 & v_2 \end{bmatrix}^T$$

$$\frac{d\lambda}{dt} \Leftrightarrow p \lambda$$

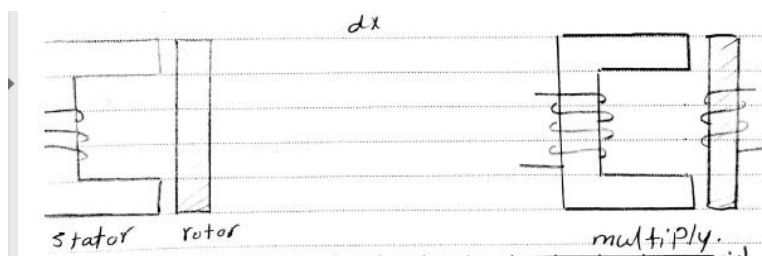
$$\therefore \underline{v} = p \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \underbrace{p L(\theta) I}_{\text{transformer voltage}} + \underbrace{\omega \frac{dL(\theta)}{d\theta} I}_{\text{speed voltage}}$$

اوكل الفاراد دى = دى سي سي = دى سي سي
elect electromechanical

$$V = p (L(\theta) I) = L(\theta) p I + \omega \frac{dL(\theta)}{d\theta} I$$

For doubly excited translational system

$$V = p (L(x) I) = L(x) p I + x \frac{dL(x)}{dx} I$$



For multiply excited systems

$$= \underline{L}(\theta) \underline{I}$$

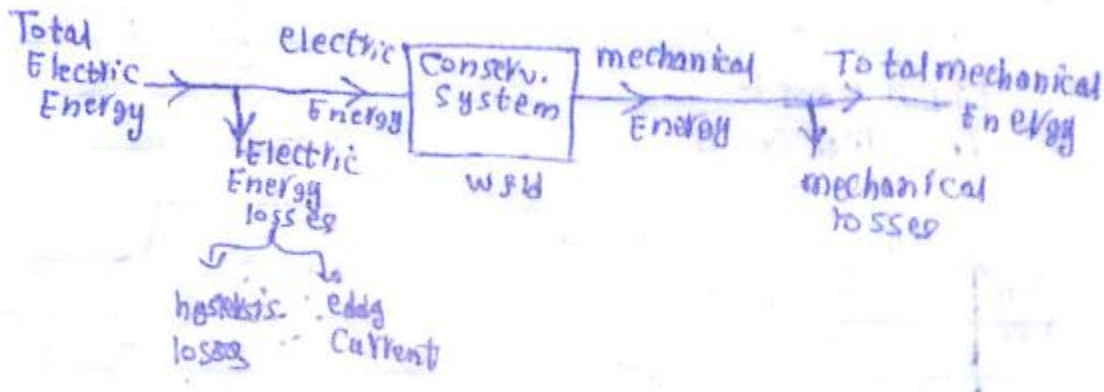
$$\underline{\lambda}^T = [\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \dots \quad \lambda_n]$$

$$\underline{I}^T = [i_1 \quad i_2 \quad i_3 \quad \dots \quad i_n]$$

$$\underline{L} = \begin{bmatrix} L_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{1n} \\ m_{21} & L_{22} & m_{23} & m_{2n} \\ m_{31} & m_{32} & L_{33} & m_{3n} \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & L_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\underline{V}^T = [v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad \dots \quad v_n]$$

Conservative systems



$$W_e = W_{fld} + W_m$$

$$v + e = 0 \rightarrow v = -e = -\frac{d\lambda}{dt}$$

$$W_e = \int v i dt = \int -\frac{d\lambda}{dt} i dt = \int i d\lambda$$

$$\lambda = Li$$

$$\therefore dW_e = i L(\theta) di + i^2 \frac{dL(\theta)}{d\theta} d\theta$$

Conclusion : Electrical Energy depends on

Inductance Variation -

Current Variation -

Fixed System (Fixed Position)

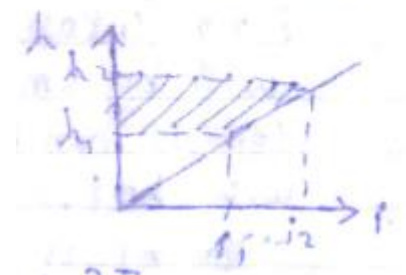
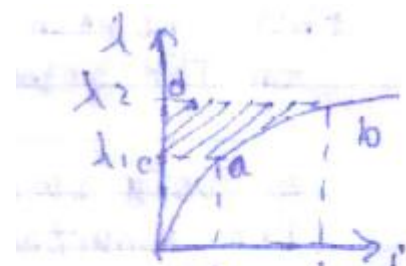
No Mechanical Energy $\therefore W_e = W_{fld}$

If current changes from i_1 to i_2

$$W_e = W_{fld} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda = \text{Area (bacd)}$$

For linear $i = \frac{\lambda}{L}$ $W_{fld} = \int \frac{\lambda}{L} d\lambda = \frac{1}{2L} [\lambda_2^2 - \lambda_1^2]$

for $i_1=0$ $W_{fld} = \frac{1}{2L} \lambda^2 = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \lambda i$

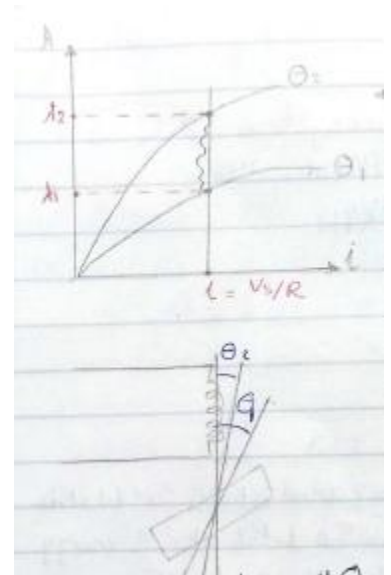
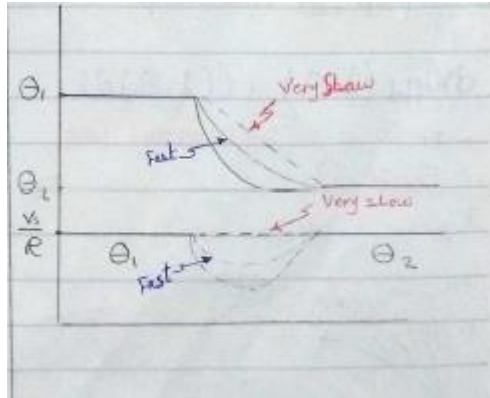


Variable System (Variable Position)

$$V_s = IR + \frac{d\lambda}{dt}$$

$$\therefore I = \frac{V_s - \frac{d\lambda}{dt}}{R}$$

$$\text{very slow } \frac{d\lambda}{dt} = 0 \quad ; \text{ fast } \frac{d\lambda}{dt} \uparrow$$



Mechanical Energy

$$W_{fld_1} = \int_0^{\lambda_1} i d\lambda = Oado$$

$$W_{fld_2} = \int_0^{\lambda_2} i d\lambda = Obeo$$

$$\Delta W_{fld} = W_{fld_2} - W_{fld_1} = obeo - oado$$

$$W_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i d\lambda = abeda$$

$$\therefore W_m = W_e - \Delta W_{fld} = abeda - obeo + oado = Oabo$$

for linear system

$$W_e = (\lambda_2 - \lambda_1) I_s \quad ; \quad \Delta W_{fld} = \int_0^{\lambda_2} i d\lambda - \int_0^{\lambda_1} i d\lambda = \frac{1}{2} I_s [\lambda_2 - \lambda_1]$$

$$\therefore W_m = W_e - \Delta W_{fld} = \frac{1}{2} I_s [\lambda_2 - \lambda_1] = \frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_2^2}{L_2} - \frac{\lambda_1^2}{L_1} \right]$$

Coenergy

It's a mathematical expression that facilitates the calculation of Torque

Graphically : it's the area under the curve

$$W'_{fld} = \int_0^{i_2} \lambda \, di$$

Where: $W_{fld} + W'_{fld} = i\lambda$ for Linear $W_{fld} = W'_{fld} = \frac{1}{2}\lambda I = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{\lambda}{2L}$

$$i = \frac{W_{fld}}{d\lambda} ; \quad \lambda = \frac{W'_{fld}}{di} \quad \theta \text{ const}$$

$$T = -\frac{W_{fld}}{d\theta} \quad \lambda \text{ const} = \frac{W'_{fld}}{d\theta} \quad i \text{ const}$$

Linear Torque from energy and co energy

Energy	CoEnergy
$W_{fld} = \frac{1}{2} \frac{\lambda^2}{L} = \frac{1}{2} \phi^2 R$	$W'_{fld} = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \frac{(Ni)^2}{R}$
$T = \frac{1}{2} \lambda^2 \frac{dL}{d\theta} = \frac{1}{2} \phi^2 \frac{dR}{d\theta}$	$T = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\theta} = \frac{1}{2} (Ni)^2 \frac{d}{d\theta} \left(\frac{1}{R} \right)$

The direction of Torque tends to :

- Increase the coenergy of a constant current
- Decrease the stored energy of a constant λ
 - Increase the inductance
 - Decrease the reluctance

For Multiply Excited System

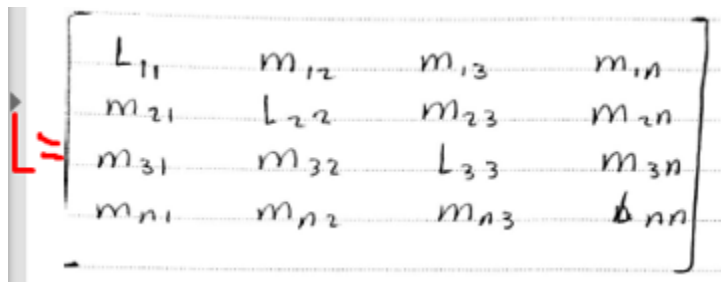
$$i^T = [i_1 \ i_2 \ \dots \ i_n]$$

$$\lambda^T = [\lambda_1 \ \lambda_2 \ \dots \ \lambda_n]$$

$$\lambda_k = \lambda_{k1} + \lambda_{k2} + \dots + \lambda_{kn}$$

$$W_{fld} = W'_{fld} = \frac{1}{2} i^T \lambda$$

Where $\lambda = Li$



$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{1n} \\ m_{21} & L_{22} & m_{23} & m_{2n} \\ m_{31} & m_{32} & L_{33} & m_{3n} \\ m_{n1} & m_{n2} & m_{n3} & L_{nn} \end{bmatrix}$$

$$W'_{fld} = \frac{1}{2} i^T L(\theta) i$$

$$\therefore T = \frac{\partial W'_{fld}}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^T \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta} i$$

Rotating	Translating
T	F
θ	x
$\omega = d\theta/dt$	$v = dx/dt$
$W = T\theta$	$W = Fx$
$P = T\omega$	$P = Fv$

Ch4 :General Torque Expression

For this system the torque expression

$$T(\theta) = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL_{11}}{d\theta} + \frac{1}{2} i_2^2 \frac{dL_{22}}{d\theta} + i_1 i_2 \frac{dM}{d\theta}$$

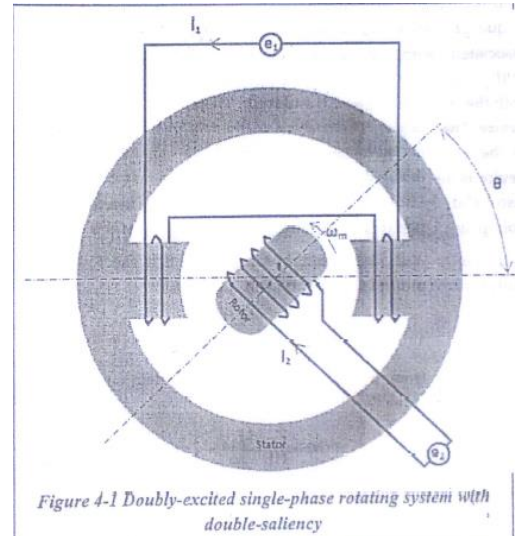
As :

The stator self-inductance $L_{11} = L_{11o} + L_{11m} \cos(2\theta)$

The rotor self-inductance $L_{22} = L_{22o} + L_{22m} \cos(2\theta)$

The mutual inductance between the stator and rotor coils

$$M = M_{\max} \cos(\theta)$$



At steady state $\theta = P\omega_m t = \omega_m t$ and assume $t = 0, \theta = 0$

For P pair poles

$$\theta = P\omega_m t$$

$$L_{11} = L_{11o} + L_{11m} \cos(2P\omega_m t)$$

$$L_{22} = L_{22o} + L_{22m} \cos(2P\omega_m t)$$

$$M = M_{\max} \cos(P\omega_m t)$$

$$i_1 = I_{1m} \cos(\omega_1 t + \phi_1) \text{ stator}$$

$$i_2 = I_{2m} \cos(\omega_2 t + \phi_2) \text{ rotor}$$

Subs in torque equation :

$$\begin{aligned} T(t) = & -I_{1m}^2 L_{11m} \cos^2(\omega_1 t + \phi_1) \sin(2P\omega_m t) \\ & -I_{2m}^2 L_{22m} \cos^2(\omega_2 t + \phi_2) \sin(2P\omega_m t) \\ & -I_{1m} I_{2m} M_m \cos(\omega_1 t + \phi_1) \cos(\omega_2 t + \phi_2) \sin(P\omega_m t) \end{aligned}$$

$$\cos^2(X) = \frac{1}{2} (1 + \cos 2X)$$

$$\cos(A) \cos(B) = \cos(A + B) + \cos(A - B)$$

$$\begin{aligned}
T(t) = & -\frac{I_{1m}^2 L_{11m}}{2} (1 + \cos(2\omega_1 t + 2\phi_1)) \sin(2P\omega_m t) \\
& -\frac{I_{2m}^2 L_{22m}}{2} (1 + \cos(2\omega_2 t + 2\phi_2)) \sin(2P\omega_m t) \\
& -\frac{I_{1m} I_{2m} M_m}{2} \cos((\omega_1 + \omega_2)t + \phi_1 + \phi_2) + (\cos((\omega_1 - \omega_2)t + \phi_1 \\
& - \phi_2)) \sin(P\omega_m t)
\end{aligned}$$

خطوه هتدخل ال $\sin$

Finally :

$$\begin{aligned}
T(t) = & -\frac{I_{1m}^2 L_{11m}}{2} \left[\sin(2P\omega_m t) + \frac{1}{2} \sin\{(2\omega_1 + 2P\omega_m)t + 2\phi_1\} \right. \\
& \left. - \frac{1}{2} \sin\{(2\omega_1 - 2P\omega_m)t + 2\phi_1\} \right] \\
& -\frac{I_{2m}^2 L_{22m}}{2} \left[\sin(2P\omega_m t) + \frac{1}{2} \sin\{(2\omega_2 + 2P\omega_m)t + 2\phi_2\} \right. \\
& \left. - \frac{1}{2} \sin\{(2\omega_2 - 2P\omega_m)t + 2\phi_2\} \right] \\
& -\frac{I_{1m} I_{2m} M_{\max}}{4} \left[\sin\{(\omega_1 + \omega_2 + P\omega_m)t + \phi_1 + \phi_2\} \right. \\
& - \sin\{(\omega_1 + \omega_2 - P\omega_m)t + \phi_1 + \phi_2\} \\
& + \sin\{(\omega_1 - \omega_2 + P\omega_m)t + \phi_1 - \phi_2\} \\
& \left. - \sin\{(\omega_1 - \omega_2 - P\omega_m)t + \phi_1 - \phi_2\} \right]
\end{aligned}$$

4 conditions when the average is not 0 (unidirectional Torque)

Condition 1	Condition 2
Torque due to rotor saliency	Torque due to stator saliency
$\omega_m = \pm \frac{\omega_1}{P}$ provided that $\dot{\varphi}_1 \neq 0$	$\omega_m = \pm \frac{\omega_2}{P}$ provided that $\dot{\varphi}_2 \neq 0$
$T_{av} = \pm \frac{I_{1m}^2 L_{11m}}{4} \sin(2\varphi_1)$	$T_{av} = \pm \frac{I_{2m}^2 L_{22m}}{4} \sin(2\varphi_2)$
Condition 3	Condition 4
Torque due to mutual coupling	Torque due to mutual coupling
$\omega_m = \pm \frac{(\omega_1 + \omega_2)}{P}$ provided that $(\varphi_1 + \varphi_2) \neq 0$	$\omega_m = \pm \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{P}$ provided that $(\varphi_1 - \varphi_2) \neq 0$
$T_{av} = \pm \frac{I_{1m} I_{2m} M_{max}}{4} \sin(\varphi_1 + \varphi_2)$	$T_{av} = \pm \frac{I_{1m} I_{2m} M_{max}}{4} \sin(\varphi_1 - \varphi_2)$

Conditions 1,2 : Saliency Torque it requires saliency or inductance variation

conditions 3,4 : Mutual Torque requires 2 mutually couples

For energy conversion it depend on one of the previous conditions

MACHINES

1- Salient Pole Synchronous machine :

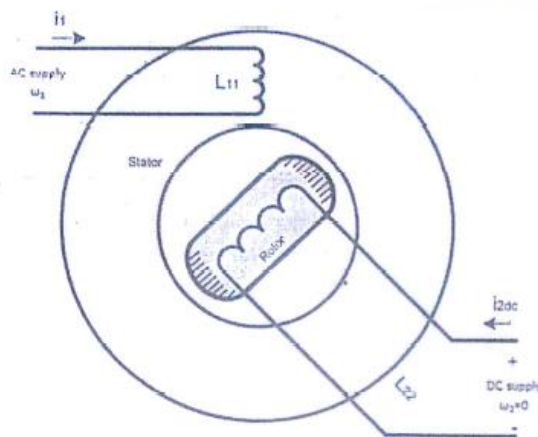


Figure 4-2 Salient-Pole Synchronous Machine

Stator : Cylindrical Excitation : AC (ω_1)

Rotor : Salient Excitation : DC ($\omega_2 = 0$)

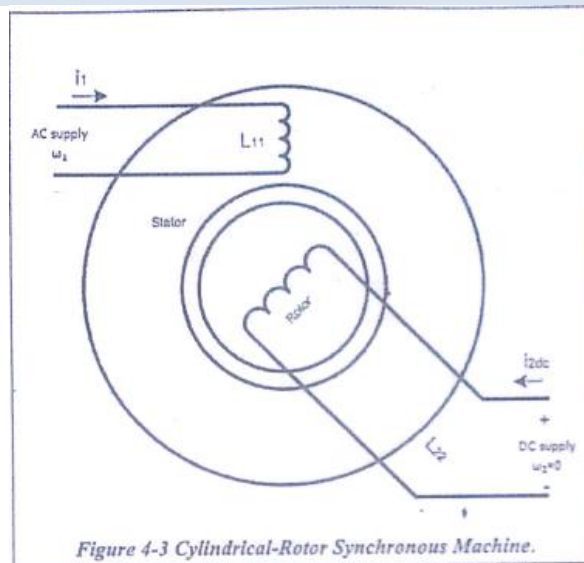
Rotor connected through carbon brushes on slip rings

Achieved conditions (1),(3),(4)

$$\omega_m = \pm \frac{\omega_1}{P}$$

$$T_{av} = \pm \left[\frac{I_1^2 L_{11m}}{4} \sin(2\phi_1) + \frac{I_{1m} I_{2dc} M_{Max}}{2} \sin(\phi_1) \right]$$

2- Cylindrical Rotor synchronous machine



Stator : Cylindrical Excitation : AC (ω_1)

*Rotor : **Cylindrical** Excitation : DC ($\omega_2 = 0$)*

$$T_{av} = \pm \frac{I_{1m} I_{2dc} M_{Max}}{2} \sin(\phi_1)$$

3- Reluctance Machine

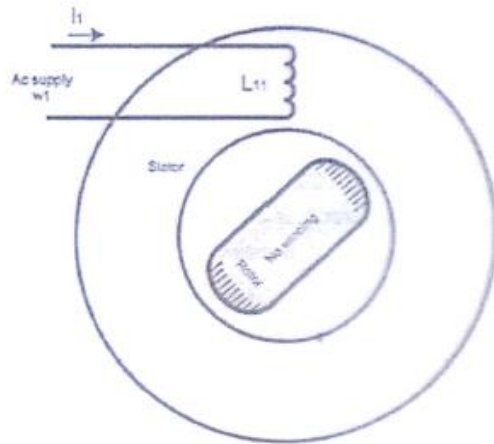


Figure 4-4 Reluctance Machine

Stator : Cylindrical Excitation : AC (ω_1)

Rotor : Salient Excitation : **NO COIL NO EXCITATION**

$$T_{av} = \pm \left[\frac{I_1^2 L_{11m}}{4} \sin(2\phi_1) \right]$$

4- DC Machine

Stator : Salient Excitation : DC

Rotor : Cylindrical Excitation : DC → comm → AC

Commutator : mechanical rotating rectifier

Disadvantage : commutator and brushes wear out

In the synchronous its better because the problems of current flow between fixed and rotating part are reduced

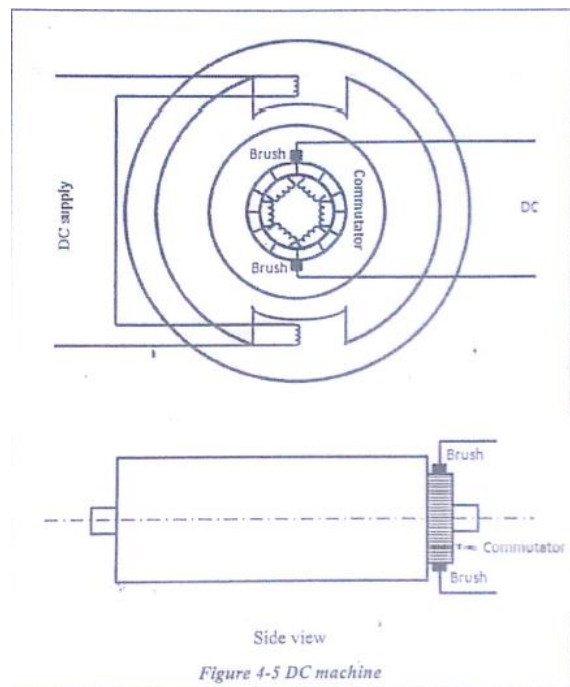


Figure 4-5 DC machine

5- Induction Machine

Stator : Cylindrical Excitation : AC (ω_1)

Rotor : Cylindrical Excitation : **no excitation coil short circuited**

The rotor coil has induced emf which will has frequency

$$\omega_2 = \omega_1 - P\omega_m$$

$\therefore$ it satisfies condition 4

$$T = \frac{I_{1m} I_{2m} M_m}{4} \sin(\phi_1 - \phi_2)$$

Ch: 5MMF Space Distribution

If we fourier analysis for concentrated DC single coil MMF it will change only in θ

$$F = \frac{\pi}{4} \frac{Ni}{2} \cos \theta$$

for distributed DC single coil MMF it will change only in θ and have kw

$$F = \frac{\pi}{4} \frac{Ni}{2} k_w \cos \theta ; \text{ the peak for each coil alone } F = \frac{NI}{2} * \frac{1}{S}$$

for distributed AC single phase MMF it will change only in θ and have kw

$$F = \frac{\pi}{4} \frac{NI_m}{2} k_w \cos \theta \cos \omega t = F_{pm} \cos \theta \cos \omega t = \frac{F_{pm}}{2} [\cos \theta - \omega t + \cos \theta + \omega t]$$

It has 2 compinents +ve and -ve so it's called Pulsating they have the same magnitude in opposite diretions

for distributed AC three phase MMF it will change only in θ and have kw

$$I_a = I_m \cos \omega t ; I_b = I_m \cos \omega t - 120 ; I_c = I_m \cos \omega t + 120$$

$$F_t = F_{pm} \cos \theta \cos \omega t + F_{pm} \cos \theta \cos \omega t - 120 + F_{pm} \cos \theta \cos \omega t + 120$$

$$\therefore F_t = \frac{3}{2} F_{pm} \cos(\theta - \omega t)$$

A rotating eave travelling on the positive position with a constant magnitude 3/2 Fpm with a speed of the angular frequency (w)

$$\text{Note : } N = \frac{60f}{\frac{P}{2}}$$

If we wound on the rotor or stator no difference

If the 3 phase sequence reversed the torque will be reversed

$$K_w = K_p K_d$$

Kd distribution factor :

Because the coils of the same phase are spatially displaced from each other the induced emf in them are not in phase which makes as to get the summation vectorially not arithmetically so the voltage induced in phase consisting of N turns has to be reduced by

$$K_d = \frac{\text{Vectorial sum of voltages of varoius coils of same phase}}{\text{Arithmatec sum of voltages of varoius coils of same phase}}$$

$$S = q * P * m ; \alpha_{mec} = \frac{360}{S} ; \alpha_{elec} = \alpha_{mec} * \frac{P}{2}$$

$$K_d = \frac{\sin\left(\frac{q * \alpha}{2}\right)}{q * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} ; \text{for } n \text{ harmonics } K_{dn} = \frac{\sin\left(\frac{q * n * \alpha}{2}\right)}{q * \sin\left(\frac{n * \alpha}{2}\right)}$$

Kp Pitch factor :

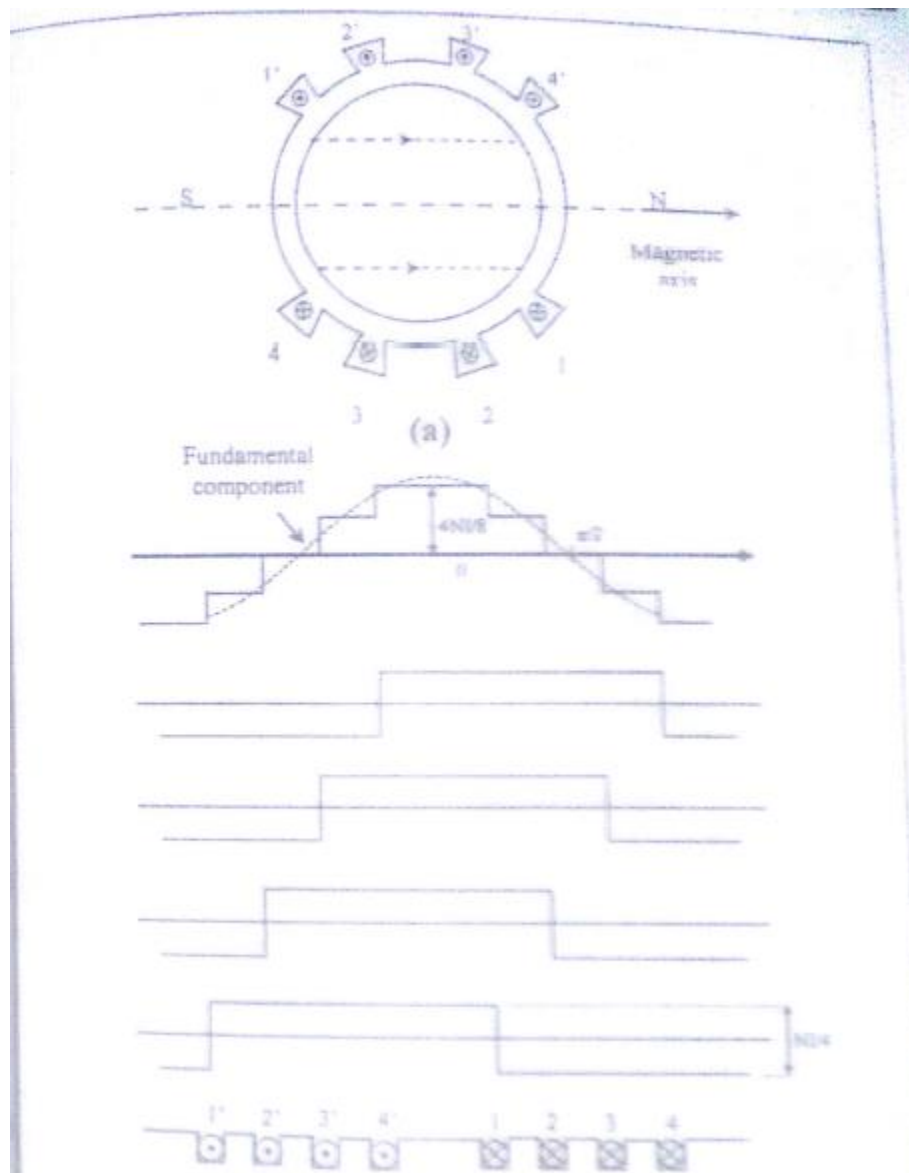
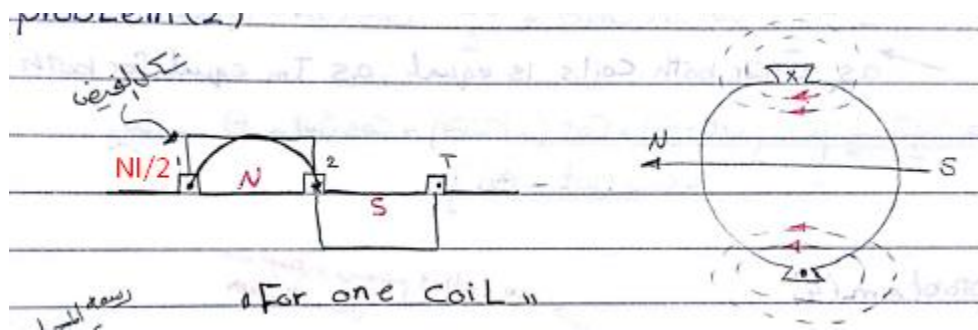
K_p appears in chorded winiding only in doubly layer winding lap or wave

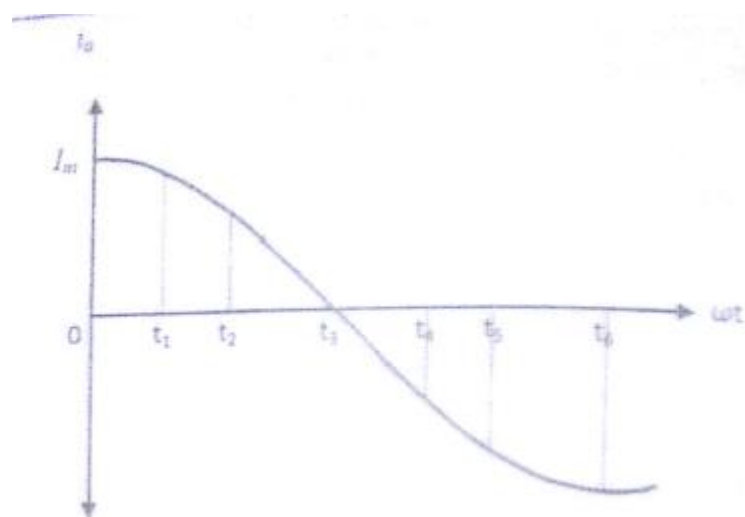
Then it will be reduced by a factor Kp which means that the coil pitch is less than the pole pitch

$$K_p = \cos\left(\frac{\beta(\text{chording angle})}{2}\right) \text{ for } n \text{ harmonid } K_{pn} = \cos\left(\frac{n\beta}{2}\right)$$

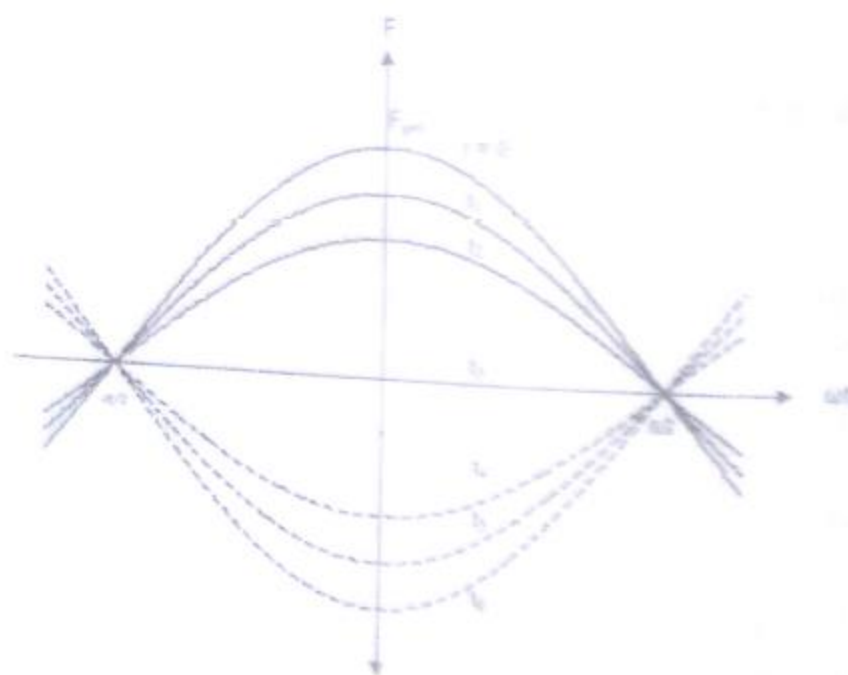
$$K_w = K_p * K_d \text{ if one of them is 0 then } k_w = 0$$

Following the Graphs for the previous cases and the graphical



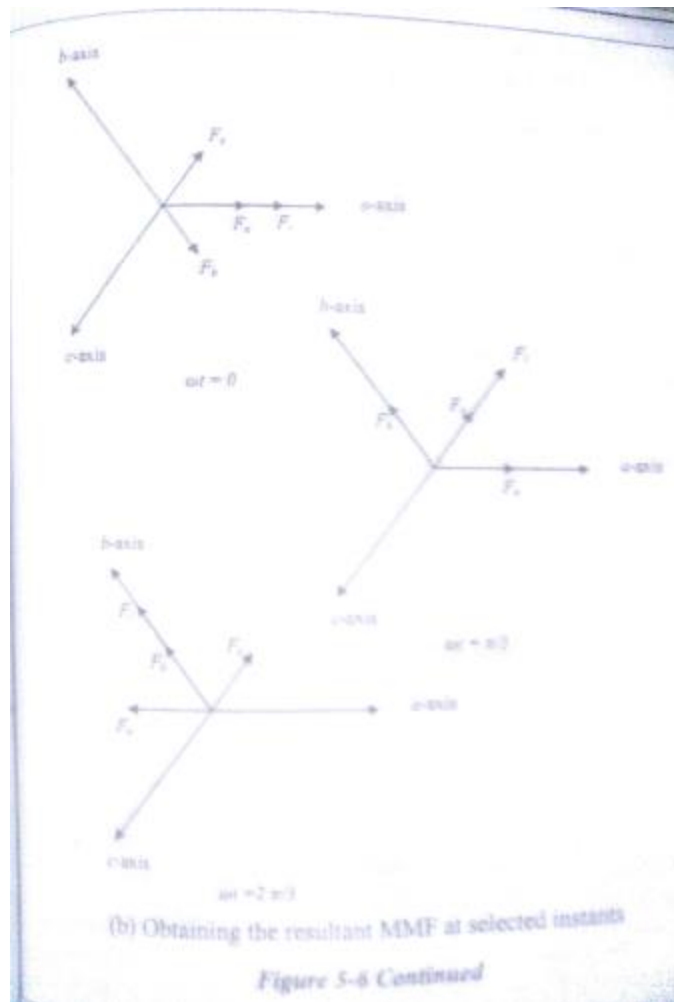


(a) Exciting current



(b) MMF

Figure 5-4 MMF distribution in a single-phase coil



Ch.6 Design Aspect of AC machines

We mean by designing determining the following

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1-the main dimension of the stator | 2-details of stator winding |
| 3- design details of rotor and its winding | 4- Performance characteristics |

Output Equation :

$$Q = 3 V_{ph1} I_{ph1} * 10^{-3} \quad (kVA)$$

Where :

$$V_{ph1} = 4.44 * K_w * f * \phi_1 * N_{ph1}$$

$$f = \frac{PN(RPM)}{120} \left(n = \frac{N}{60} (RPS) \right) \therefore f = \frac{Pn}{2}$$

$$; K_w = K_p * K_d ; \phi_1 = B * \tau_p * L ; \phi_1 = B * \left(\frac{\pi D}{P} \right) * L \therefore \tau_p = \frac{\pi D}{P}$$

$$\text{no. of conductors in stator} = 6N_{ph} ; ac = 6N_{ph1} * I_{ph1} ; \text{Specific } ac = \frac{6N_{ph1} I_{ph1}}{\pi D}$$

$$\therefore N_{ph1} * I_{ph1} = \frac{ac * \pi D}{6}$$

$$Q = 3 \left(4.44 * K_w * f * \phi_1 * N_{ph1} \right) I_{ph1} * 10^{-3} \quad (kVA)$$

$$Q = 3 \left(4.44 * K_w * \left(\frac{Pn}{2} \right) * \left(B * \frac{\pi D}{P} * L \right) \right) ((N_{ph1} I_{ph1})) * 10^{-3} \quad (kVA)$$

$$Q = 3 \left(4.44 * K_w * \left(\frac{Pn}{2} \right) * \left(B * \frac{\pi D}{P} * L \right) \right) \left(\left(\frac{ac * \pi D}{6} \right) \right) * 10^{-3} \quad (kVA)$$

$$Q = 11 * 10^{-3} B * ac * K_w * D^2 * L * n \quad (kVA)$$

$$Q = C_0 * D^2 * L * n \quad (kVA)$$

$$C_0 = 11 * 10^{-3} B * ac * K_w$$

How to determine the B (magnetic Loading) Value :

Lower B	Higher B
- Magnetization Current - Iron Loss - PF - Heating & Temp Rise - Noise & Vibration	- Overload Capacity - Size - Cost

B (suitable Value) : 0.3 → 0.6 Tesla

How to determine the ac (specific electrical Loading) Value :

Lower ac	Higher ac
- Copper Loss - Heating & Temp rise - Overload capacity	- Size - Cost

ac (suitable value)

10,000 : 17,500 Amp.Cond. /Metre	Machine rating : up to 10 kW
20,000 : 30,000 Amp.Cond. /Metre	Machine rating : up to 100 kW
30,000 : 45,000 Amp.Cond. /Metre	Machine rating : > 100 kW

Relation Between Machine speed and volume :

$$D^2L = \frac{Q}{C_0 n} \quad (D^2L \text{ represents the IM Volume}) \therefore \text{Volume} \propto \frac{1}{n}$$

$$\therefore n \uparrow \rightarrow \text{Vol.} \downarrow \rightarrow \text{Cost} \downarrow$$

Getting the D , L values:

From 2 equations :

$$D^2L = \frac{Q}{C_0 n} \rightarrow (1)$$

$$\frac{L}{\tau_p} = \frac{L * P}{\pi D} \text{ where if :}$$

$\frac{L}{\tau_p} = 1$	Good Overall Design
$\frac{L}{\tau_p} = 1 : 1.25$	Good P.F
$\frac{L}{\tau_p} = 1.5$	$\eta \uparrow$
$\frac{L}{\tau_p} = 1.5 : 2$	Economical Design

Length of air gap:

$$g = 0.2 + 2\sqrt{DL} \quad (mm) \quad (\text{where } D (m) \text{ and } L (m))$$

$$g_{Min} = 0.25 \text{ mm} \quad \text{and} \quad g_{Max} = 2 \rightarrow 3 \text{ mm} (\text{for meduim rating IM})$$

$$D(\text{Rotor Diameter}) = D(\text{stator}) - 2g$$

Net iron Length of the machine :

$$L_i = K_i l = K_i (L - n_v b_v)$$

Design of stator:

1- No . of stator slots

$$\tau_{sg1} = \frac{\pi D}{S_1}$$

$$\therefore S_1 (\text{no of stator slots}) = \frac{\pi D}{\tau_{sg1}}$$

$$\begin{aligned} \text{for } 3 - \phi \text{ machine have } P - \text{Poles} \rightarrow S_1 &= 3 q_1 P \\ \text{where } q_1 (\text{no of slots per pole per phase}) &= \frac{S_1}{3P} \end{aligned}$$

if q_1 (integral) then winding is integral
if q_1 (fractional) winding is fractional slot winding

$q_1 (\text{fractional}) = \frac{x}{y}$;
no of pole pair divisible by y ;
if double layer y divisible by 2
then we go get S_1 new

2- Total number of turns per phase (N_{ph})

$$N_{ph} = \frac{V_{ph1}}{4.44 * k_w * \phi_1 * f}$$

3- Total number of conductors (Z_1)

$$Z_1 = 3 * 2 N_{ph} = 6 N_{ph}$$

4- Number of conductors per slot (N_{c1})

$$N_{c1} = \frac{Z_1}{S_1}$$

N_{c1} – single layer winding (odd or even)

N_{c1} – double layer winding (must be even)

N_{c1} – Must be integral

if not (correct it to $N_{corrected}$ as integer then fix the values of)

$$- Z_{1corrected} = N_{c1corrected} * S_1$$

$$- N_{ph-corrected} = \frac{1}{6} * Z_{1-corrected}$$

$$- \phi_{1-corrected} = \frac{V_{ph1}}{4.44 * k_w * f * N_{ph1-corrected}}$$

$$- B_{corrected} = \frac{\phi_{1-corrected}}{\tau_p * L_i}$$

5- Sectional Area of stator conductor (F_{c1})

$$I_{ph1} = \frac{Q * 10^{-3}}{3V_{ph1}}$$

$$F_{c1} = \frac{I_{ph1}}{\delta_1} \text{ mm}^2$$

$$\text{where } \delta \text{ (current density) } = 3 \rightarrow 4 \frac{A}{\text{mm}^2}$$

Sheet 6 :

1- req : L, D, n_v, S_1, N_{ph}

$$P = Q = 3.7 \text{ kW} ; V_{ph1} = 4000 ; 3 - \phi ; P = 4 ; f = 50 \text{ Hz} ; \text{delta}$$

$$B = 0.45 \frac{Wb}{m^2} ; ac = 23000 ; \eta = 0.85 ; PF = 0.84 ; K_w = 0.955 ; K_i = 0.9$$